



**Universidade de
Aveiro
Ano 2017**

Departamento de Engenharia Civil

**DANIELA SOFIA
GOMES
FERREIRA**

**SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM MADEIRA:
APLICAÇÃO A NOVAS ESTRUTURAS E
REABILITAÇÃO**



**DANIELA SOFIA
GOMES
FERREIRA**

**SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM MADEIRA:
APLICAÇÃO A NOVAS ESTRUTURAS E
REABILITAÇÃO**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimentos dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Paulo Barreto Cachim, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Domingos António Garcia Ribas
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

palavras-chave

Folha de cálculo, Estruturas de Madeira, Construção, Verificação de Segurança.

resumo

O presente trabalho pretende apresentar o estágio curricular realizado ao longo de 6 meses, com o intuito de obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Aveiro.

O estágio curricular foi concretizado na empresa R6 LIVING, com sede na Maia, e teve com principal objetivo a realização de projetos de Engenharia Civil, relacionados com madeiras.

Este relatório divide-se em duas partes. A primeira parte está relacionada com o trabalho desenvolvido na empresa e a segunda parte no desenvolvimento de uma folha de cálculo para verificação da segurança de vigas de madeira.

Assim, na primeira parte descreve-se detalhadamente a R6 LIVING, as áreas de intervenção e os materiais utilizados, mas também todo o trabalho efetuado pela estagiária nos diferentes departamentos integrantes da R6 LIVING, em que no departamento técnico se inclui a análise de projetos, orçamentação e preparação de projetos, no departamento comercial se desenvolveram propostas de orçamentos e, como complemento a alguns projetos, a estagiária desenvolveu competência e conhecimentos no programa de desenho, *Cadwork*. No departamento de compras realizou-se todo o procedimento de preparação da obra e compra de materiais necessários e, por fim, no departamento de produção realizam-se visitas periódicas às obras e trabalhos de fiscalização.

A segunda parte refere-se à elaboração de uma folha de cálculo, em *Microsoft Excel*, para verificação de segurança de vigas de madeira simplesmente apoiadas e contínuas, de acordo com o Eurocódigo 5 e Normas em vigor. Estas vigas de madeira são verificadas à compressão perpendicular ao fio, à flexão simples, ao bambeamento, ao corte e, por último, à resistência ao fogo.

keywords

Worksheet, Timber Structures, Construction, Security Check.

abstract

This work reflects the six months internship to obtain the Master degree in Civil Engineering by Universidade de Aveiro.

The internship was carried out at R6 LIVING, located in Maia and its main goal was the execution of timber related civil engineering projects

This report has two parts. The first part describes the trainee daily work at R6 LIVING and the second part consists on the development of a worksheet for the of timber beams.

Thereby, the first part describes in detail the R6 LIVING, the intervention areas and the used materials. It also presents the trainee daily work at the different R6 LIVING departments. In the technical department this includes the design analysis, budget and design preparation; in the commercial department, the trainee developed some budget analysis in order to complement some projects, and developed skills and acquire knowledge in the design program, *Cardwork*. In the purchasing department, execution of all the proceedings of design preparations and purchase of necessary materials was carried out and, at last, in the production department periodic visits to construction sites were performed for works inspection.

The second part relates to the development of a *Microsoft Excel* spreadsheet for safety checking of simply supported and continuous timber beams, in accordance with the current Eurocodes and other standards. The timber beams are checked in bending, lateral torsional buckling, shear and fire resistance.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. MOTIVAÇÃO	1
1.3. OBJETIVOS E METODOLOGIA	1
1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO	2
PARTE I – TRABALHO DESENVOLVIDO NA EMPRESA	5
2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA	5
2.1. ÁREAS DE INTERVENÇÃO	6
2.1.1. ESTRUTURAS DE MADEIRA	6
2.1.2. REVESTIMENTOS	7
2.1.3. PAVIMENTOS	9
2.1.4. ACONDICIONAMENTO ACÚSTICO	11
2.1.5. MOBILIÁRIO HPL	12
2.2. MATERIAIS UTILIZADOS	13
2.2.1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS	13
2.2.1.1. VIGAMENTOS ESTRUTURAIS	14
2.2.1.1.1. Madeira Maciça	14
2.2.1.1.2. Madeira Lamelada Colada	15
2.2.1.2. PAINÉIS ESTRUTURAIS	16
2.2.1.2.1. Painéis Sandwich	16
2.2.1.2.2. OSB	17
2.2.2. ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS	18
2.2.2.1. REVESTIMENTOS	18
2.2.2.1.1. High Pressure Laminates - HPL	18
2.2.2.1.2. Aglomerado de Cortiça	19
2.2.2.2. PAVIMENTOS	20
2.2.2.2.1. Pavimentos Interiores	21
2.2.2.2.2. Pavimentos Exteriores	22

3.	TRABALHO DESENVOLVIDO	25
3.1.	DEPARTAMENTO TÉCNICO	25
3.1.1.	ANÁLISE DE PROJETOS	26
3.1.2.	ORÇAMENTAÇÃO	26
3.1.3.	PREPARAÇÃO DE PROJETOS	28
3.2.	DEPARTAMENTO COMERCIAL	29
3.3.	DEPARTAMENTO DE COMPRAS.....	31
3.4.	DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO	32
PARTE II – VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE ESTRUTURAS EM MADEIRA ..		33
4.	PROJETOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA	33
4.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	33
4.2.	A MADEIRA NO ÂMBITO DA CONSTRUÇÃO	34
4.3.	METODOLOGIA GERAL DE CÁLCULO	34
4.4.	AÇÕES E COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	35
4.5.	CLASSE DE SERVIÇO E DE DURAÇÃO DAS AÇÕES.....	36
4.6.	MODELOS DE CÁLCULO ESTRUTURAL	39
4.7.	VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	40
4.8.	ESPECIFICIDADES DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA.....	40
5.	MADEIRAS EM ESTRUTURAS	43
5.1.	MADEIRA MACIÇA.....	44
5.2.	MADEIRA LAMELADA COLADA	49
5.3.	MADEIRA MICRO-LAMINADA COLADA - LVL.....	51
6.	EUROCÓDIGO 5	55
6.1.	APRESENTAÇÃO GERAL	55
6.2.	BASES DE PROJETO: REQUISITOS	56
6.3.	ESTADOS LIMITE.....	60
6.3.1.	ESTADOS- LIMITE DE UTILIZAÇÃO	60
6.3.2.	ESTADOS- LIMITE ÚLTIMOS.....	61
6.4.	VERIFICAÇÃO PELO MÉTODO DOS COEFICIENTES PARCIAIS	62
6.4.1.	VALOR DE CÁLCULO DE UMA PROPRIEDADE DE UM MATERIAL	62

6.4.2.	VALOR DE CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS	63
6.4.3.	VALOR DE K_{MOD} E K_{DEF}	64
7.	VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE ESTRUTURAS EM MADEIRA	65
7.1.	COMPRESSÃO PERPENDICULAR AO FIO	65
7.2.	FLEXÃO SIMPLES	67
7.3.	BAMBEAMENTO	69
7.4.	CORTE.....	72
7.5.	RESISTÊNCIA AO FOGO	73
7.5.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	73
7.5.2.	VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA AO FOGO	75
8.	CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS	81
	ANEXO - FOLHA DE CÁLCULO DESENVOLVIDA	87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1– Classes de risco (Adaptado da NP EN 335-1).....	37
Tabela 2 – Classes de serviço (Adaptado do EC5).....	38
Tabela 3 – Classes de duração das ações (Adaptado do EC5).	38
Tabela 4- Relação entre classes de qualidade e classes de resistência (NP EN 1912: 2007).	47
Tabela 5 - Propriedades físicas e mecânicas de madeira para estruturas- Espécies Resinosas.	48
Tabela 6 - Propriedades físicas e mecânicas de madeira para estruturas- Espécies Folhosas.	48
Tabela 7 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira lamelada colada homogênea.....	50
Tabela 8 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira lamelada colada combinada.....	51
Tabela 9 – Propriedades físicas e mecânicas do KERTO-LVL.	53
Tabela 10 – Valores limite para a deformação de vigas (EC5).	59
Tabela 11 – Valores limite para a deformação total, segundo o DNA.	60
Tabela 12 – Coeficientes parciais de segurança γM	63
Tabela 13 – Valores de k_{mod}	64
Tabela 14 - Valores de k_{def}	64
Tabela 15 – Valores do fator de momento uniforme equivalente, m	71
Tabela 16 – Valores de k_{fi} , segundo EC5 1-2.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Logotipo da empresa R6 Living.....	5
Figura 2 – Obras com participação da R6 LIVING na área das Estruturas de Madeira: a) Casa da Arquitetura; b) Centro de Investigação; c) Adega Gran Cruz; d) Observatório de Avifauna; e) Ponte Pedonal;	7
Figura 3 - Obras com participação da R6 LIVING na área dos Revestimentos: a) Curbsides do Aeroporto de Faro; b) Telheiros Santuários de Fátima; c) Associação Comercial e Industrial; d) Habitação Unifamiliar.	9
Figura 4 - Obras com participação da R6 LIVING na área dos Pavimentos: a) Valorização da Praia da Ingrina;.....	11
Figura 5 - Obras com participação da R6 LIVING na área do Acondicionamento Acústico: a) Cinema Alba; b) Auditório do Aeroporto Sá Carneiro; c) Auditório Municipal; d) Auditório Microsoft.....	12
Figura 6 - Obras com participação da R6 LIVING na área do Mobiliário HPL: a) Restaurante de Praia;	13
Figura 7 - Aspeto de uma viga em madeira maciça (Somapil, 2017b).	14
Figura 8 – Madeira Lamelada Colada- Glulam.	15
Figura 9 – Painéis Sandwich (SOTECNISOL Materiais, 2017).	17
Figura 10 - Placas de aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas (Somapil, 2017a).	18
Figura 11 – Catálogo de HPL (HPL, 2017).	19
Figura 12 – Aglomerado de cortiça (Amorim, 2017).	20
Figura 13 – Exemplo de aplicação de pavimento interior em madeira maciça.	21
Figura 14 – Exemplo de aplicação de pavimento flutuante laminado.....	22

Figura 15 – Representação dos três grupos de deck: a) deck em madeira maciça (Stong, 2017); b) deck compósito (enaqplus, 2017); c) deck em madeira termo-tratada (Carpintaria Venezolana Portuguesa, 2017).	23
Figura 16 – Exemplos de desenhos desenvolvidos em Cadwork: a) Estrutura de Madeira – Pérgola; b) Estrutura de Madeira – Cobertura; c) Parede de Frontal.	31
Figura 17 - Metodologia de cálculo para projetos em estruturas de madeira (Faria & Negrão, 2009).	35
Figura 18 – Representação das componentes da deformação de uma viga (EC5, 2004). ...	58
Figura 19 – Vigas continuamente apoiadas.	66
Figura 20 – Vigas sobre apoios discretos.	67
Figura 21 - Peça de madeira após ação do fogo (Madeira Estrutural, 2009).	74

SIMBOLOGIA

Letras maiúsculas latinas

A_{ef}	Área de contacto efetiva
A_r	Área da secção residual exposta ao fogo
$E_{0,05}$	Módulo de elasticidade correspondente ao quantilho de 5%
$E_{d,fi}$	Valor de cálculo do efeito das ações (tensões atuantes), em situação de incêndio
E_d	Valor de cálculo do efeito das ações à temperatura ambiental
$E_{mean,fin}$	Módulo de elasticidade médio final
E_{mean}	Módulo de elasticidade médio
$F_{c,90,d}$	Valor de cálculo da força de compressão perpendicular ao fio
G_d	Valor de cálculo do módulo de distorção
G_k	Valor característico da ação permanente
$G_{mean,fin}$	Módulo de distorção médio final
G_{mean}	Módulo de distorção médio
I_{tor}	Momento de inércia de torção da secção
I_z	Momento de inércia em relação ao eixo fraco z
$K_{ser,fin}$	Módulo de deslizamento final
K_{ser}	Módulo de deslizamento, aplicado ao deslizamento de uma ligação relativamente a um esforço aplicado
$M_{ED,fi}$	Valor de cálculo do momento fletor atuante para a situação de incêndio
M_{sd}	Valor de cálculo do momento fletor atuante
P_r	Perímetro da secção residual exposta ao fogo
$Q_{k,1}$	Valor característico da ação variável base
R_{20}	Valor de cálculo da resistência à temperatura ambiental
$R_{d,t,fi}$	Valor de cálculo da resistência das peças ou das seções, em situação de incêndio
R_d	Valor de cálculo da capacidade resistente
R_k	Valor característico da capacidade resistente
V_{sd}	Valor de cálculo do esforço transversal atuante

X_d	Valor de cálculo de uma propriedade de resistência
X_k	Valor característico de uma propriedade de resistência
E	Módulo de elasticidade do material
G	Módulo de distorção do material

Letras minúsculas latinas

h_{ef}	Valor reduzido da altura
b_{ef}	Valor reduzido da largura
d_0	Profundidade da camada sem valores atribuídos de resistência e rigidez
$d_{char,0}$	Profundidade de carbonização unidimensional
$d_{char,n}$	Profundidade de carbonização nominal
d_{ef}	Profundidade de carbonização efetivo
f_{20}	Valor de cálculo da tensão resistente à temperatura ambiente
$f_{c,90,d}$	Valor de cálculo da resistência de compressão perpendicular ao fio
$f_{c,90,k}$	Valor característico da resistência de compressão perpendicular ao fio
$f_{d,fi}$	Valor de cálculo da tensão resistente em situação de incêndio
$f_{m,d}$	Valor de cálculo da resistência à flexão
$f_{m,k}$	Valor característico da resistência à flexão
$f_{v,d}$	Valor de cálculo da resistência ao corte
$f_{v,k}$	Valor característico da resistência ao corte
k_0	Coefficiente que depende do tempo de exposição ao fogo
k_h	Fator que tem em conta o efeito do volume
$k_{c,90}$	Coefficiente de resistência de compressão perpendicular ao fio
k_{cr}	Fator que tem em conta o efeito produzido pelas fendas na redução da secção
k_{crit}	Fator que se obtém por uma curva de bambeamento, estabelecida analiticamente
k_{def}	Fator de avaliação da deformação devido à fluência
k_{fi}	Coefficiente que depende do tipo de madeira e ligações a usar
$k_{mod,fi}$	fator de correção para a situação de incêndio, tendo em conta os efeitos da temperatura e do teor de água

k_{mod}	Fator de modificação da resistência, que tem em conta o efeito de duração das ações e do teor de água
$k_{s,fi}$	Parâmetro que depende do tipo de esforço atuante
k_{sys}	Fator de resistência do sistema
l_1	Comprimento carregado real
l_{ef}	Comprimento efetivo de bambeamento
p_r	Perímetro da superfície residual exposta ao fogo
u_c	Pré-deformada (se existir)
u_{creep}	Deformação devido à fluência
u_{fin}	Deformação final total
$u_{int,G}$	Deformação instantânea da ação permanente
$u_{int,Q,1}$	Deformação instantânea da ação variável base
$u_{int,Q,i}$	Deformação instantânea da ação variável
u_{int}	Deformação instantânea
$u_{net,fin}$	Deformação final
h	Altura da secção transversal
b	Largura da secção transversal
l	Comprimento de contacto
m	Fator de momento uniforme
s	Exponente do efeito do tamanho
t	Tempo de exposição ao fogo
w	Momento estático da secção
v	Coefficiente da velocidade de resposta de um impulso unitário

Letras minúsculas gregas

β_0	Taxa de carbonização unidimensional
β_n	Taxa de carbonização nominal
η	Fator de conversão
η_{fi}	Valor de redução para a carga de projeto na situação de incêndio
γ_G	Coefficiente parcial de segurança da ação permanente
γ_M	Coefficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material

$\gamma_{M,fi}$	Coeficiente parcial de segurança para a situação de incêndio
$\gamma_{Q,1}$	Coeficiente parcial da ação variável base
$\lambda_{rel,m}$	Valor da esbelteza relativa
$\sigma_{c,90,d}$	Valor de cálculo da tensão atuante de compressão perpendicular ao fio
$\sigma_{m,crit}$	Valor de cálculo da tensão crítica elástica
$\sigma_{m,d}$	Valor de cálculo da tensão atuante de flexão
τ_d	Valor de cálculo da tensão atuante de corte
$\psi_{0,i}$	Coeficiente para o valor da combinação de ações variáveis
$\psi_{1,1}$	Coeficiente de redução para valor frequente da ação variável base
ψ_2	Coeficiente para o valor quase permanente da ação
$\psi_{2,1}$	Coeficiente para o valor quase permanente da ação variável base
$\psi_{2,i}$	Coeficiente para o valor quase permanente da ação variável

ACRÓNIMOS

DECivil	Departamento de Engenharia Civil
DNA	Documento Nacional de Aplicação do EC8
E	Estruturas
EC	Eurocódigo
EE	Estruturas Especiais
EN	Norma Europeia
HDF	Placas de fibras de madeira de alta densidade
HPL	<i>High Pressure Laminates</i> (painéis fenólicos)
LVL	Madeira Micro-Laminada Colada
MIEC	Mestrado Integrado em Engenharia Civil
MS Excel	Microsoft Excel
MS Project	Microsoft Project
NP	Norma Portuguesa
OSB	Placas de aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas
UA	Universidade de Aveiro

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O presente documento insere-se na unidade curricular de Dissertação/Projeto/Estágio, pertencente ao plano curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Civil (MIEC), promovido pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro (DECivil), que integra no seu ciclo de estudos conducente ao grau de Mestre, realizado no ano letivo 2016/2017.

O desenvolvimento do presente relatório assenta sobre duas partes, sendo que a primeira parte aborda todo o acompanhamento e trabalho desenvolvido na empresa R6 LIVING, sediada na Maia, trabalho este que incidiu essencialmente na análise e orçamentação de projetos de estruturas em madeira. A segunda parte refere-se ao desenvolvimento de uma folha de cálculo para verificação de segurança de estruturas em madeira, de acordo com o Eurocódigo 5 e todas as normas associadas às estruturas em madeira.

1.2. MOTIVAÇÃO

A opção da realização de um estágio curricular em detrimento de uma dissertação ou projeto, deve-se a poder colocar em prática os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso de mestrado em Engenharia Civil, com a realidade e panorama do mercado de trabalho atual.

Os conceitos abordados no contexto teórico são essenciais para a execução de qualquer tarefa no âmbito da Engenharia Civil. No entanto, os conceitos associados à construção são vastos e muitos destes só são adquiridos e aperfeiçoados com a experiência profissional.

Deste modo, a escolha da realização de um estágio curricular é uma oportunidade para desenvolver todo o tipo de competências num nível mais prático e é vantajoso na medida em que nos tempos que decorrem, a experiência profissional é um fator muito revelante para as empresas empregadoras no momento de análise de um *curriculum vitae*.

1.3. OBJETIVOS E METODOLOGIA

A realização do estágio curricular teve como principal objetivo consolidar a aquisição de conhecimentos práticos e competências profissionais, dispondo das ferramentas adquiridas

em contexto de aula, de várias unidades curriculares do mestrado, de modo a fazer a passagem da teoria à prática e facilitar a integração profissional numa empresa de Engenharia Civil; desenvolver capacidades específicas na área de Construções em Madeira; e desenvolver e aperfeiçoar aptidões de trabalho individual, em equipa dentro de uma organização.

Para o desenvolvimento dos trabalhos realizados na empresa, foi necessário a aquisição de mais conhecimento e aptidões em diversas ferramentas informáticas, nomeadamente:

- AutoCAD e Cadwork para análise de desenhos;
- Excel para orçamentação.

Para além do acompanhamento de alguns trabalhos em curso na empresa, desenvolveu-se uma folha de cálculo para auxílio do dimensionamento e verificação de segurança de estruturas de madeira na construção nova e na reabilitação de edifícios, segundo o EC5 e algumas normas em vigor.

1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

O presente relatório desenvolve-se em 8 capítulos e 1 Anexo, que se diferem pelos conteúdos que abrangem. No presente capítulo realiza-se uma apresentação do trabalho que se desenvolveu, assim como os objetivos e metodologias.

Após a introdução, o Capítulo 2 e 3 integram a primeira parte deste documento. No Capítulo 2 elabora-se a descrição da empresa, integrando as diversas áreas de intervenção e materiais utilizados pela mesma, onde se realizou o estágio. O Capítulo 3 refere-se a todo o trabalho desenvolvido na empresa, durante o período de estágio, onde inclui uma descrição pormenorizada dos diversos departamentos integrantes da empresa de estágio, bem como os trabalhos efetuados pela estagiaria em cada um deles.

A Parte II do presente trabalho integra todos os elementos a ter em consideração aquando da verificação de segurança de estruturas de madeira. Nesta parte inclui-se os Capítulos 4, 5, 6 e 7 que apresentam, respetivamente, os projetos de estruturas de madeira, o Eurocódigo 5, as madeiras em estruturas e as verificações de segurança de estruturas de madeira.

No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões obtidas por meio da realização deste documento.

Em anexo apresenta-se a folha de cálculo desenvolvida para verificação de segurança aplicada a estruturas novas e reabilitação.

PARTE I – TRABALHO DESENVOLVIDO NA EMPRESA

Esta primeira parte do presente relatório visa apresentar uma descrição da empresa, as suas áreas de intervenção e materiais utilizados bem como descrever todo o trabalho desenvolvido durante o estágio curricular na empresa R6 Living.

2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A R6 LIVING, com sede na Maia, é uma empresa multifacetada, abrangendo vários tipos de especialidades em sistema cooperativo com vários profissionais, oferecendo soluções completas na construção com madeira e os seus derivados, desde o aconselhamento técnico em todas as fases do processo, à elaboração de projetos e escolha da solução mais adequada, até à conclusão da obra. Na Figura 1 encontra-se representado o logotipo da R6 LIVING.



Figura 1 – Logotipo da empresa R6 LIVING.

Em 2011 a R6 LIVING reuniu condições para oferecer aos seus Clientes- Empresas públicas e Privadas; Gabinetes de Arquitetura, Engenharia e Design; Empresas de Construção; Particulares e Instituições públicas, incluindo serviços de superior qualidade, adequados e competitivos (“R6 Living,” 2017).

Entre 2012 e 2013, a R6 LIVING fortificou competências nas áreas de *Reabilitação Urbana e Requalificação Paisagista* e iniciou o seu sistema de Internacionalização, tomando presença em obras em construção e adjudicadas em Portugal, França, Cabo Verde, Angola e Moçambique (“R6 Living,” 2017).

Em 2014, a empresa R6 LIVING foi reconhecida, pela primeira vez, como PME Líder e desenvolveu no mercado a marca de construções em madeira *Houses For Living*, (“R6

Living,” 2017). Em 2016 o alvará da empresa em Estruturas de Madeira subiu de nível, para Classe de Alvará 5 e lançou uma nova assinatura: Wood is Good, (“R6 Living,” 2017).

2.1. ÁREAS DE INTERVENÇÃO

A madeira tem vindo a crescer, sob o ponto de vista arquitetónico, pela sua simples adaptação e versatilidade a qualquer projeto. Assim, a R6 LIVING promove um serviço profissional à solução pretendida de qualquer cliente, desde a fase da projeto e orçamentação até à fase de execução.

A R6 LIVING atua sobre diversas áreas da construção, nomeadamente no âmbito das estruturas de madeira, dos revestimentos, dos pavimentos, do acondicionamento acústico e do mobiliário HPL.

2.1.1. ESTRUTURAS DE MADEIRA

No âmbito das Estruturas de Madeira, a R6 LIVING dispõe de soluções em diversos tipos de materiais derivados da madeira, tais como:

- Vigas de Madeira Maciça;
- Vigas de Madeira Lamelada Colada – Glulam.

Neste campo de ação, a R6 LIVING participou em obras de grande envergadura, nomeadamente a Casa da Arquitetura em Matosinhos (2015), Curbsides do Aeroporto de Sá Carneiro na Maia (2015), Centro de Investigação em Cabo Verde (2014), Adega Gran Cruz em Alijó (2013), Observatório de Avifauna em Monção (2013), Ponte Pedonal em Vila Velha de Rodão (2013), entre outros (“R6 Living,” 2017), visíveis na Figura 2.

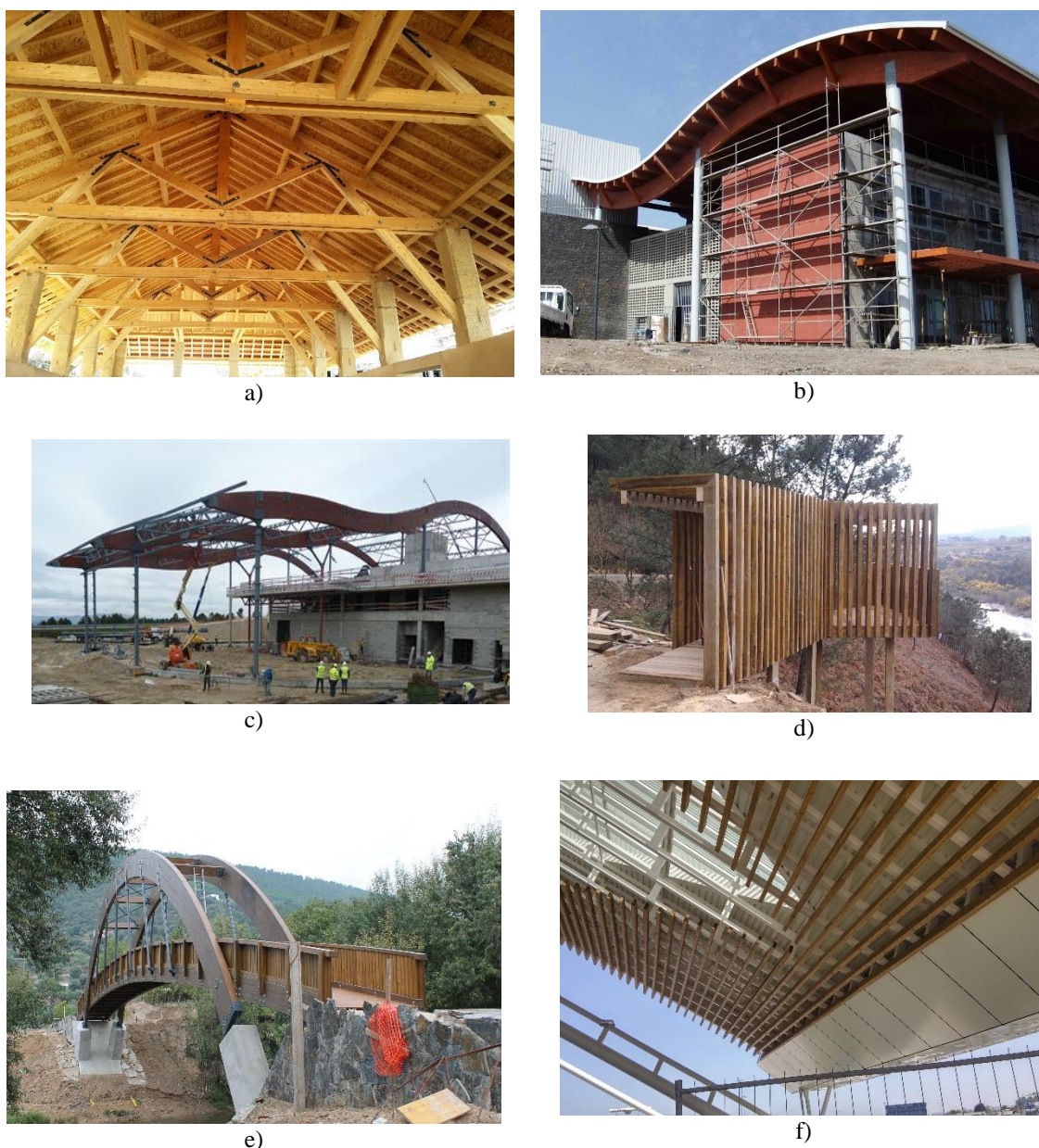


Figura 2 – Obras com participação da R6 LIVING na área das Estruturas de Madeira: a) Casa da Arquitetura; b) Centro de Investigação; c) Adega Gran Cruz; d) Observatório de Avifauna; e) Ponte Pedonal; f) Curbsides do Aeroporto de Sá Carneiro.

2.1.2. REVESTIMENTOS

O tipo de revestimento a utilizar depende do seu local de aplicação, isto é, se é um revestimento interior ou exterior e da função pretendida dos mesmos (decorativa, isolamento ou outra). Com o avançar do tempo a área da construção tem vindo a desenvolver materiais inovadores e versáteis neste ramo dos revestimentos, de forma a conciliar com as diversas funções de aplicação e o reduzido custo de manutenção.

Desta forma, a R6 LIVING propõe soluções de revestimento exterior designado como Fachadas Ventiladas que, nos dias de hoje, é uma das preferências dos arquitetos, engenheiros e projetistas. Esta solução é um revestimento exterior composto pela suspensão de placas ou elementos leves que permitem a disposição de uma câmara ventilada entre o isolamento e o elemento de acabamento exterior. Devido à sua aplicação simplificada, este recurso é empregue em edifícios novos e também em reabilitação de edifícios, com vista a melhorar o aspeto da fachada e o isolamento sem precisar de reduzir o espaço útil (“R6 Living,” 2017).

Assim, a R6 LIVING singulariza as suas capacidades em revestimentos na aplicação dos seguintes produtos:

- Fachadas Ventiladas (em fenólico ou painéis cimentícios);
- Ripados em Madeira;
- Forros e Lambrins;
- Madeira termo-tratada;
- Painéis Sandwich;
- OSB (Placas de Aglomerado de Partículas de Madeira Longas e Orientadas)
- Aglomerado de Cortiça;
- Apainelados diversos.

Nesta área de intervenção, a R6 LIVING participou em obras de grande dimensão, especialmente os Curbsides do Aeroporto de Faro em Faro (2015), os Telheiros Santuário de Fátima em Fátima (2014), a Associação Comercial e Industrial na Maia (2014), a Habitação Unifamiliar em Belas Clube de Campo (2009), entre outras (“R6 Living,” 2017), como ilustra a Figura 3.

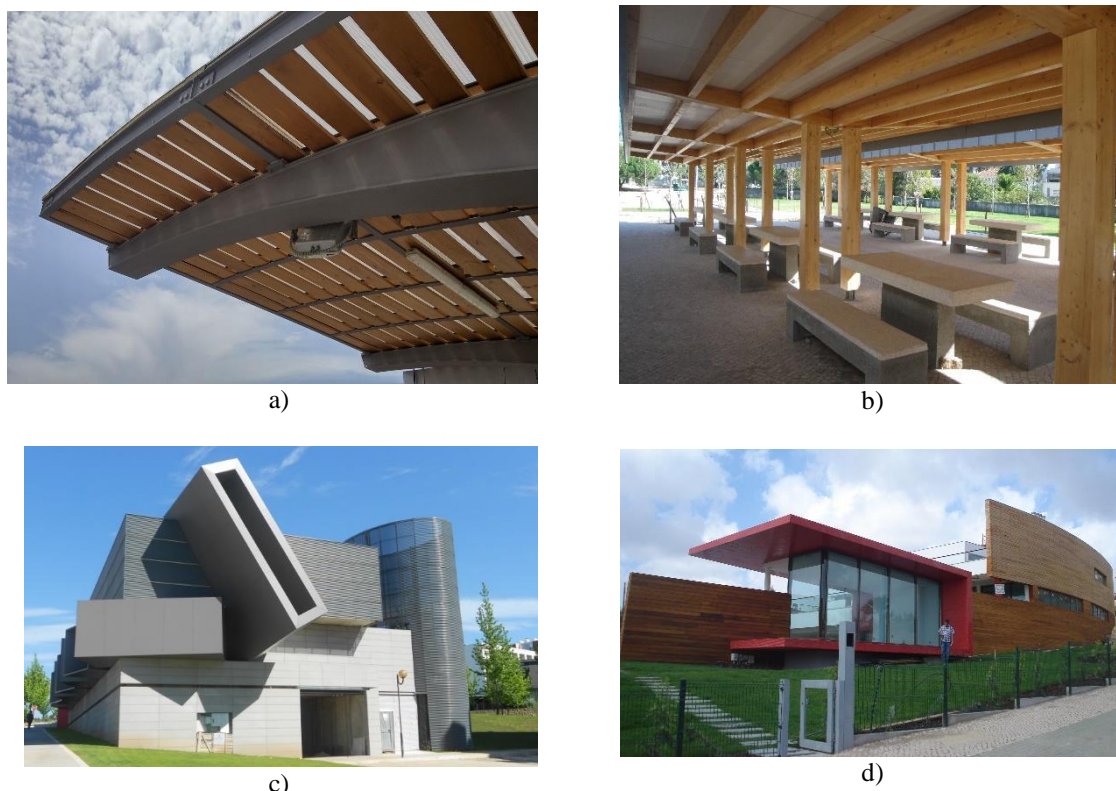


Figura 3 - Obras com participação da R6 LIVING na área dos Revestimentos: a) Curbsides do Aeroporto de Faro; b) Telheiros Santuários de Fátima; c) Associação Comercial e Industrial; d) Habitação Unifamiliar.

2.1.3. PAVIMENTOS

Os pavimentos em madeira e os seus derivados integram uma excelente opção em qualquer contexto pois, além das suas características antialérgicas, o facto de serem quentes ao contacto e bons isolantes térmicos, são também de fácil limpeza e manutenção e ainda pela forma como concebem ambientes mais agradáveis e confortáveis ao utilizador (“R6 Living,” 2017).

Os projetos de decoração interior diferem em função do tipo de fabrico, dimensão e forma de aplicação. Assim, devido a esta grande variedade de pavimentos em madeira e derivados, a R6 LIVING trabalha em projetos de vasta aplicação de derivados de madeira e agrupa os pavimentos em:

- Pavimentos em madeira maciça;
- Pavimentos flutuantes com madeira;
- Pavimentos flutuantes estratificado;

- Pavimentos flutuantes em vinil.

Relativamente aos pavimentos exteriores, também designado como Deck, a R6 LIVING pretende garantir o aspeto, a resistência e a durabilidade do pavimento, face às condições climáticas a que este estará exposto permanentemente. Para condições mais adversas, a escolha das espécies de madeira ou soluções com derivados de madeira passa pela seleção de madeiras com classe de resistência mais elevada.

Também é muito frequente, aquando a aplicação de Deck, a R6 LIVING efetuar a execução de espaços exteriores de lazer, nomeadamente os passadiços e pergolas. A R6 LIVING promove um serviço profissional desde a elaboração do projeto, aplicação e montagem, até ao acompanhamento permanente em obra e a sua finalização (“R6 Living,” 2017).

Por fim, é de notar a participação da R6 LIVING em algumas obras de grande importância, particularmente, a Valorização da Praia da Ingrina, em Vale do Bispo (2016), o Parque Nossa Senhora das Dores na Trofa (2015), a Requalificação da Frente Lagunar em Vagos (2014), o Passadiço Quinta do Lago em Lagos (2009), entre muitas outras (“R6 Living,” 2017), observáveis na Figura 4.



Figura 4 - Obras com participação da R6 LIVING na área dos Pavimentos: a) Valorização da Praia da Ingrina; b) Parque Nossa Sr.^a das Dores; c) Requalificação da Frente Lagunar; d) Passadiço Quinta do Lago.

2.1.4. ACONDICIONAMENTO ACÚSTICO

Segundo a definição utilizada pela R6 LIVING, “O som que é percebido no interior de um espaço fechado é uma combinação do som direto (proveniente diretamente de fontes sonoras) e de reflexões ocorridas nas superfícies (e objetos). Pelo que, o revestimento destas superfícies assume um papel primordial na qualidade acústica das salas.

Assim sendo, a R6 LIVING desenvolveu Painéis de Absorção Sonora, sob a marca TimberAcoustic, que incorporam a função técnica dos painéis à função decorativa, permitindo ao cliente definir uma solução final personalizada.

Esta solução é possível porque a madeira e os seus derivados são produtos excelentes para revestimentos, pois promovem a absorção sonora ou a dispersão sonora, condicionando o campo sonoro estabelecido no interior das mesmas. Os painéis da TimberAcoustic são frequentemente usados para locais com uma elevada exigência acústica, tais como salas de espetáculos, auditórios, igrejas, bares, etc.

Nesta área de intervenção, a R6 LIVING participou em obras de grande dimensão, sobretudo o Cinema Alba em Albergaria-à-Velha (2013), Auditório do Aeroporto Sá Carneiro na Maia (2011), Auditório Municipal no Seixal (2009), o Auditório Microsoft em Oeiras (2006), entre outros (“R6 Living,” 2017), como se observa na Figura 5.

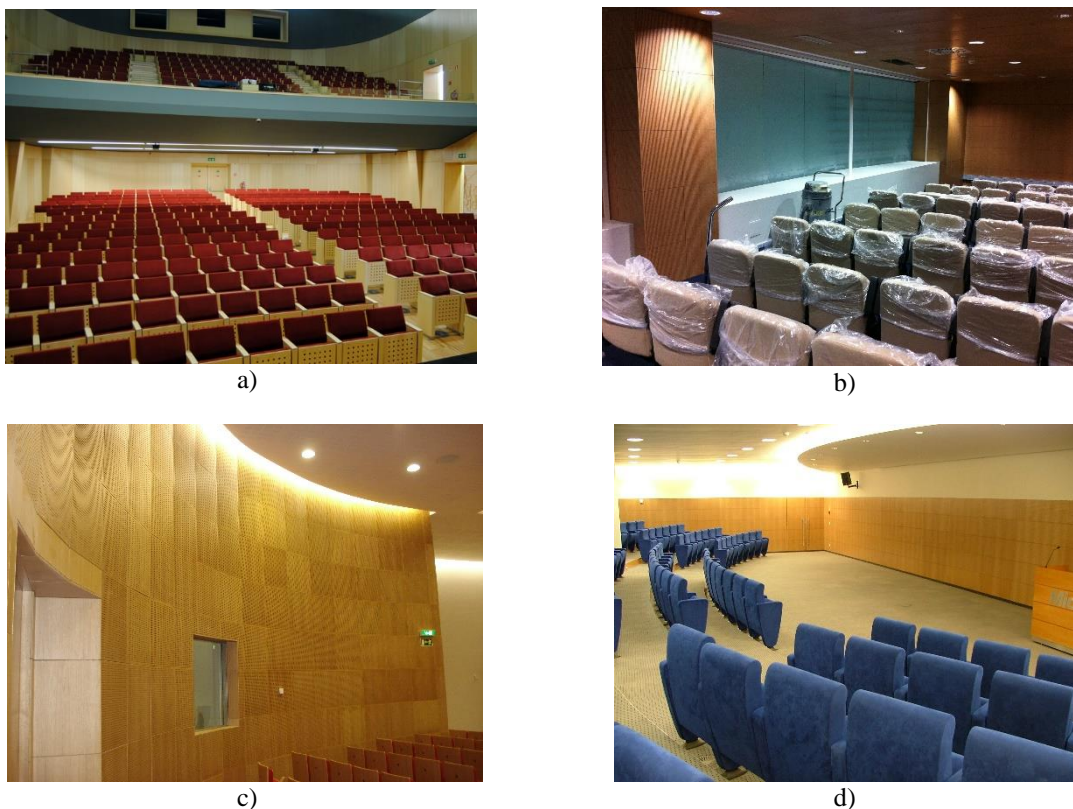


Figura 5 - Obras com participação da R6 LIVING na área do Acondicionamento Acústico: a) Cinema Alba; b) Auditório do Aeroporto Sá Carneiro; c) Auditório Municipal; d) Auditório Microsoft.

2.1.5. MOBILIÁRIO HPL

Os painéis fenólicos *High Pressure Laminates* (HPL) são compostos por folhas de papel Kraft impregnadas em resinas fenólicas, permitindo obter um papel compacto, plano e homogéneo, de alta resistência e durabilidade. Na sua composição são acrescidas fibras de madeira e o emprego de resinas pigmentadas possibilita a obtenção de painéis coloridos.

Esta solução tem diversas aplicações a nível interior, nomeadamente para divisórias, cacifos, balneários e cabines sanitários, portas, tampos e bancos quer para cozinhas e casas de banho como para laboratórios, etc. Desta forma a R6 LIVING presenteia um serviço profissional e ajustado a cada cliente, durante todo o processo da obra.

Neste campo de ação é revelante referir algumas das obras nos quais a R6 LIVING participou, nomeadamente o Restaurante de Praia em Armação de Pêra (2014), Museu Cosme Damião em Lisboa (2014), a Creche Santiago de Custóias em Custóias (2012), Ginásio em Paços de Ferreira (2007), entre outras (“R6 Living,” 2017), como ilustra a Figura 6.



Figura 6 - Obras com participação da R6 LIVING na área do Mobiliário HPL: a) Restaurante de Praia;
 b) Museu Cosme Damião; c) Creche Santiago de Custóias; d) Ginásio.

2.2. MATERIAIS UTILIZADOS

Atualmente, a madeira é um dos materiais mais utilizados na construção, sendo usada como elemento estrutural e não estrutural. Deste modo, o presente capítulo atende a clarificar os materiais utilizados nestes dois grupos, pela empresa R6 LIVING.

2.2.1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A madeira é dos materiais mais antigos usado pela Homem no campo de aplicação em construções de edifícios, pontes, etc. No entanto, ainda existe algum preconceito em utilizar a madeira como material estrutural, devido à falta de conhecimento adequado em relação a este material e pela falta de regulamentação de origem nacional.

Deste modo, podemos dividir os elementos estruturais em dois grupos: vigamentos estruturais e painéis estruturais.

2.2.1.1. VIGAMENTOS ESTRUTURAIS

A R6 LIVING, utiliza madeiras tais como, a madeira maciça e a madeira lamelada colada, para realizar estruturas mais complexas.

Assim sendo, procede-se à descrição destes materiais e ilustra-se as vantagens e desvantagens de aplicação destes elementos em estruturas.

2.2.1.1.1. Madeira Maciça

Em Portugal, existe um grande retorno à utilização da madeira maciça como elemento estrutural, não só para a construção de património degradado (reabilitação), mas também para construções novas.

A madeira maciça provém diretamente dos troncos das árvores, sem necessitar de qualquer tipo de colagem, conferindo-lhe um aspeto como ilustra a Figura 7.



Figura 7 - Aspeto de uma viga em madeira maciça (Somapil, 2017b).

As principais vantagens da utilização deste material na construção são fundamentalmente as seguintes:

- É “amigo da natureza”, pois é um material reciclável e renovável, abundante e altamente sustentável na natureza;
- Ótima relação resistência/peso próprio;
- Elevada durabilidade, recorrendo a produtos preservadores adequados;
- Elevada resistência ao fogo, apesar de ser um material combustível;
- Excelente isolante térmico e acústico;
- Económico, uma vez que possui um custo relativamente baixo e tem um gasto de energia para produção baixo;
- Esteticamente agradável.

No entanto, este grupo de madeiras apresenta algumas desvantagens, nomeadamente: estar limitada transversalmente e a nível de comprimento; possuir variações transversais e longitudinais devido à variação da humidade; ser um material combustível; e ser vulnerável ao ataque de insetos e fungos, se não for devidamente tratada (Demétrio, Douglas *et al.*; 2015).

2.2.1.1.2. Madeira Lamelada Colada

A madeira lamelada colada, ou Glulam, é constituída por elementos de madeira classificada e seleccionada, justapostas e firmemente ligadas por cola apropriada. A Glulam é obtida pela colagem de lamelas de madeira sobrepostas topo a topo, como ilustra a Figura 8.



Figura 8 – Madeira Lamelada Colada- Glulam.

No processo de produção deste material, o tipo de cola utilizado é essencial porque tem de possuir boas características mecânicas e resistência à humidade, elevada durabilidade e bom comportamento ao fogo.

A Glulam é um material fundamentalmente heterogêneo e anisotrópico e, mesmo depois de transformada, quando já empregue na construção, a madeira é muito sensível ao ambiente, aumentando ou diminuindo de dimensões com as variações de humidade. Também é bastante vulnerável aos agentes externos, e a sua durabilidade é limitada, quando não são tomadas medidas preventivas (Brandalise, 2012).

No entanto, este material conduziu a uma evolução na construção uma vez que é possível produzir elementos retos ou curvos, com grandes dimensões e melhores propriedades mecânicas.

2.2.1.2. PAINÉIS ESTRUTURAIS

A R6 LIVING inclui nos painéis estruturais os painéis sandwich e o OSB. Estes elementos são utilizados, essencialmente, para a execução de revestimentos. Desta forma, nos subcapítulos seguintes, descrever-se-á estes materiais, bem como as suas vantagens e desvantagens no âmbito da construção.

2.2.1.2.1. Painéis Sandwich

Os painéis sandwich são constituídos por três camadas: as camadas superior e inferior, que são compostas por lâminas finas, rígidas e resistentes que, habitualmente, são derivados de madeira ou outro material protetor, e a camada central que é constituída por um compósito de poliestireno extrudido, poliestireno expandido (esferovite), poliuretano, lã de vidro ou outro material com um bom comportamento isolante, como ilustra a Figura 9.



Figura 9 – Painéis Sandwich (SOTECNISOL Materiais, 2017).

A utilização deste material como isolante é uma solução moderna e apresenta diversas vantagens, nomeadamente, pela sua simples e rápida aplicação, a sua impermeabilidade e a sua durabilidade sob o ponto de vista térmico. Ainda assim, este material não detém apenas a função de isolamento térmico, também pode ser utilizado para acabamentos interiores e como elemento estrutural (Guia Casa Eficiente, 2017).

Segundo Almeida, 2009, os painéis sandwich apresentam algumas desvantagens que podem impossibilitar a consideração deste material como solução construtiva, nomeadamente:

- Fraca resistência a temperaturas elevadas, uma vez que o núcleo dos painéis é constituído por materiais plásticos e com um péssimo comportamento ao fogo;
- Quando expostos ao sol, exibem deformações excessivas;
- Reduzida possibilidade de reciclagem no final do ciclo de vida.

2.2.1.2.2. OSB

As placas de aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas, também designado por OSB (Oriented Strand Board), são placas constituídas por lascas de madeira de dimensões geralmente retangulares, estando as lascas nas camadas exteriores orientadas paralelamente ao comprimento da placa, enquanto as lascas das camadas interiores se encontram dispostas aleatoriamente, como podemos observar na Figura 10. Deste modo, as placas de OSB têm uma melhor distribuição da sua resistência no sentido longitudinal e transversal.



Figura 10 - Placas de aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas (Somapil, 2017a).

A vantagem de utilização deste material reside, fundamentalmente, na sua elevada durabilidade, facilidade de manuseamento, elevada resistência, excelente relação entre resistência e peso e, por último, a sua capacidade de suportar todos os tipos de cobertura, incluindo betumes, tijoleiras e telhas.

Em contrapartida, a aplicação de OSB equivale a um custo de mão de obra mais elevado, uma vez que este recurso necessita de ser especializada.

2.2.2. ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS

Neste capítulo serão identificados dois grupos de os materiais que não possuem funções estruturais, mas que são utilizados pela empresa R6 LIVING, nomeadamente os revestimentos e os pavimentos.

2.2.2.1. REVESTIMENTOS

A R6 LIVING integra, como materiais de revestimento não estrutural, os painéis fenólicos (HPL) e o aglomerado de cortiça. Assim, nos temas que se seguem descreve-se estes elementos construtivos, as vantagens e as desvantagens no âmbito da construção.

2.2.2.1.1. High Pressure Laminates - HPL

Como já referido anteriormente no subcapítulo 2.1.5., os painéis fenólicos HPL são compostos por folhas de papel Kraft impregnadas em resinas fenólicas.

Devido à sua constituição, estes painéis possuem uma alta resistência e durabilidade, concebendo ao cliente uma solução moderna e elegante, quer para estruturas novas, quer para soluções de reabilitação.

A Figura 11 ilustra um género de catálogo que o fornecedor dispõe ao cliente para que este possa visualizar as soluções existentes no mercado e se estas correspondem ao pretendido.



Figura 11 – Catálogo de HPL (HPL, 2017).

No entanto, a utilização deste material na construção, apresenta algumas limitações, das quais se destacam (Mendes, 2009):

- Necessidade de mão de obra qualificada e com experiência;
- Não existência de normas e requisitos de desempenho;
- Dependência de mudanças organizacionais nos processos de gestão e de produção;
- Exigência de projetos detalhado e que defina o processo de montagem.

2.2.2.1.2. Aglomerado de Cortiça

A utilização de aglomerado de cortiça é, hoje em dia, uma solução com um bom desempenho a nível térmico, acústico e antivibrático. A Figura 12 ilustra o painel de aglomerado de cortiça, habitualmente utilizado na construção.



Figura 12 – Aglomerado de cortiça (Amorim, 2017).

Este produto é constituído pela aglutinação dos grânulos da matéria-prima devido à expansão volumétrica e a exsudação das resinas naturais da cortiça, por ação da temperatura transmitida por um fluído térmico. Desta forma, é originado um aglomerado puro de cortiça, sem recurso a qualquer cola ou aditivo, com boas propriedades térmicas, acústicas e antivibráticas (Sofalca, 2017).

A cortiça é um material com imenso interesse, pois é biodegradável, renovável, reciclável e não poluente, o que contribui muito para a sustentabilidade na construção. Para além destas vantagens, existem mais algumas, nomeadamente (Amorim, 2017):

- Elevada estabilidade dimensional;
- Durabilidade praticamente ilimitada, mantendo as características técnicas; permeável ao vapor de água; elevada resistência à compressão;
- Quanto à resistência ao fogo, apesar de se queimar tem propriedades retardadoras e não gera fumos tóxicos durante a combustão;
- Não reagem a agentes químicos;
- Possui propriedades hipoalergénicas, uma vez que a cortiça não absorve o pó, contribui para a proteção contra alergias.

2.2.2.2. PAVIMENTOS

Relativamente aos pavimentos, estes dividem-se em dois grandes grupos, pavimentos interiores e pavimentos exteriores. O ponto essencial que os distingue é a envolvente, na medida em que, dependendo deste fator, os tratamentos dos pavimentos aplicáveis são diferentes.

Deste modo, os seguintes tópicos descrevem a diversidade de aplicação do pavimento e as vantagens do seu emprego.

2.2.2.2.1. Pavimentos Interiores

Atualmente, existe uma variedade de pavimentos em madeira, em função do tipo de fabrico, dimensões e formas de aplicação, e que se podem adaptar a qualquer projeto de decoração interior.

Deste modo, a R6 LIVING possibilita diversas soluções de pavimentos, tais como, a execução de pavimentos interiores em madeira maciça e em derivados de madeira.

Os pavimentos interiores em madeira maciça são a solução construtiva tradicional e que possui uma elevada estabilidade, durabilidade e resistência quando comparada a outros tipos de pavimentos. Detém ainda uma beleza notável e têm uma maior facilidade de aplicação, uma vez que podem não só ser pregados ao barrote, mas também permite a colagem na betonilha. A Figura 13 ilustra um exemplo da aplicação de pavimento interior em madeira maciça (Jular, 2017b).



Figura 13 – Exemplo de aplicação de pavimento interior em madeira maciça.

Relativamente aos pavimentos interiores em derivados de madeira, também designados por pavimentos flutuantes laminados, estes são constituídos por uma base em HDF (painéis de fibras de madeira de alta densidade) e possuem uma superfície decorativa muito resistente e uma elevada resistência contra a humidade. Estes pavimentos flutuantes laminados podem ter diversos modos de aplicação, pelo que a Figura 14 ilustra apenas um exemplo de aplicação deste pavimento (Jular, 2017b).



Figura 14 – Exemplo de aplicação de pavimento flutuante laminado.

Assim, a escolha de um pavimento interior em madeira incide nas suas boas propriedades antialérgicas, na sua simples limpeza e manutenção, no seu bom comportamento como isolante térmico e acústico, originando ambientes mais confortáveis e a nível estético, pois produz uma vista mais agradável ao utilizador.

2.2.2.2.2. Pavimentos Exteriores

Os pavimentos exteriores, também designado por Deck pela R6 LIVING, podem ser divididos em três grupos:

- Deck em madeira maciça – pavimento tradicional indicado para aplicação exterior. Este grupo de pavimento contém uma elevada resistência e longevidade e está disponível em diversas espécies, tais como, exótica, nórdica e nacional.
- Deck compósito – esta tipologia é constituída por fibras de madeira e um polímero reciclado, que na sua composição ilustra componentes de proteção, conferindo a este pavimento estabilidade, durabilidade e uma reduzida manutenção. Para além destas vantagens, este deck oferece, a nível arquitetónico, um produto de elevado valor estético.
- Deck em madeira termo-tratada – este é um produto com tratamento térmico, mas sem recurso a produtos químicos, que melhora significativamente a estabilidade e a durabilidade da madeira, mas preservando todas as restantes propriedades.

Na Figura 15 é apresentado os três grupos de deck descritos anteriormente.

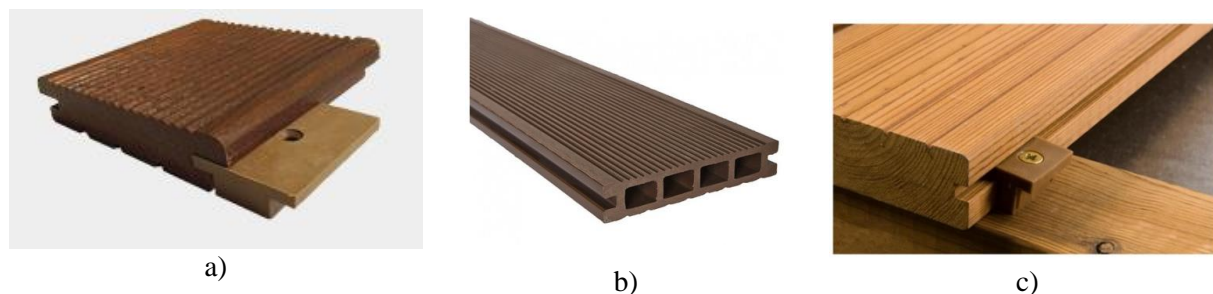


Figura 15 – Representação dos três grupos de deck: a) deck em madeira maciça (Stong, 2017); b) deck compósito (enaqplus, 2017); c) deck em madeira termo-tratada (Carpintaria Venezolana Portuguesa, 2017).

Independentemente do tipo de deck que o cliente opte, este deve cumprir algumas exigências funcionais, nomeadamente a nível da segurança (isto é, assegurar a integridade física do utilizador), a nível de habitabilidade (de forma a garantir condições de conforto dos utentes) e, a nível de durabilidade (ou seja, assegurar a manutenção das qualidades do revestimento).

3. TRABALHO DESENVOLVIDO

O estágio foi programado de modo a integrar todas as vertentes relacionadas com a formação adquirida durante o curso, essencialmente na elaboração de projetos em estruturas de madeira, tendo sempre em conta o regulamento em vigor da Norma Europeia Eurocódigo 5 e a organização de projetos.

Deste modo, o estágio efetuado focou-se no acompanhamento de projetos em construções com derivados de madeira, integrando essencialmente a maioria dos departamentos constituintes da empresa – departamento técnico, departamento de compras, departamento comercial e departamento de produção, com vista a contactar com o funcionamento real de uma empresa de construção civil.

3.1. DEPARTAMENTO TÉCNICO

O departamento técnico foi essencial na realização do estágio curricular pois possuiu uma elevada relevância sobre este departamento. Nele executou-se um conjunto de temas dos quais se destacam:

- Caraterísticas das técnicas dos materiais utilizados;
- Análise de desenhos e mapas de quantidades;
- Orçamentação das diferentes áreas de atuação;
- Preparação de projeto/obra.

Na integração deste conjunto de assuntos foi necessário ter presente todos os conceitos teóricos adquiridos ao longo do percurso académico, nomeadamente relacionados com as unidades curriculares legislação e direção de obras e gestão de obras e coordenação de segurança.

O departamento técnico integra todos os temas destacados anteriormente nos seguintes campos de ação:

- Estruturas de Madeira;
- Requalificação Paisagística – Pavimentos;
- Mobiliário HPL;

- Revestimentos.

De modo a compreender melhor todo o trabalho desenvolvido ao longo do estágio curricular, descrever-se-á, de forma mais pormenorizada, todo o processo de análise de projetos, orçamentação e preparação de projeto/obra.

3.1.1. ANÁLISE DE PROJETOS

A análise de projetos é o estudo profundo do projeto e o ponto inicial para a realização de qualquer projeto/ empreendimento, sendo fundamental e necessária em qualquer empresa de construção civil como a R6 LIVING, uma vez que a análise de projetos é a base de qualquer engenheiro civil. Sem analisar devidamente os projetos não devemos proceder à execução ou orçamentação da empreitada. Esta análise integra dois elementos cruciais: os desenhos e o respetivo mapa de quantidades afetos ao projeto em análise, que são fornecidos pelo cliente.

Nas Estruturas de Madeira, na Arquitetura Paisagística- Pavimentos, no Mobiliário HPL e nos Revestimentos é fundamental conhecer as características técnicas dos materiais, os elementos necessários para a execução de cada campo de ação e os respetivos materiais a utilizar.

Na análise de projetos foi necessário desenvolver e melhorar competências no uso de ferramentas informáticas, nomeadamente nos seguintes *softwares* utilizados no gabinete:

- AutoCAD para análise do desenho geral;
- Cadwork para análise de projetos;
- MS Excel para análise de mapas de quantidades.

3.1.2. ORÇAMENTAÇÃO

Numa empresa de construção só é possível uma boa gestão conhecendo, de forma mais aproximada possível, os custos de cada obra. De facto, um dos aspetos essenciais da gestão é a possibilidade de conhecimento e ajustamento do preço das obras, dentro de certos parâmetros que terão em conta as necessidades, interesses ou disponibilidades da empresa.

O orçamento elaborado por uma empresa construtora, tendo como objetivo a obtenção do preço pelo qual se propõe realizar uma dada empreitada, é um instrumento extremamente

importante na medida em que condiciona fortemente a angariação de obras e consequentemente os seus resultados financeiros.

Conhecida as características técnicas dos materiais a utilizar e analisado o projeto da obra, procede-se à orçamentação nos diversos campos de atuação da R6 LIVING, descritos no capítulo anterior.

Na R6 LIVING a elaboração do orçamento é efetuada através de uma folha em ficheiro *Microsoft Excel*, programada pela empresa. A folha está organizada de forma a que para cada artigo do mapa de quantidades, do respetivo projeto em análise, seja contabilizado os diferentes custos, nomeadamente os materiais, a mão-de-obra, os ligadores, os transportes/equipamentos e tratamentos/colas.

No âmbito das Estruturas de Madeira e Revestimentos, a orçamentação tem em conta não só a espécie e a resistência da madeira considerada em projeto, mas também as suas propriedades geométricas. Com estas propriedades e após a análise do projeto, é possível obter a medição de orçamento para madeiras, em volume de madeira (m^3) e assim justapor o preço por m^3 aplicável pela R6 LIVING, tendo em consideração a mão de obra associada à execução da estrutura de madeira. De seguida, é necessário ter em conta todas as ligações associadas ao projeto em análise e distribui-los em ligadores metálicos *standard*, ligadores metálicos não *standard* e parafusaria. Como estamos a lidar com madeira, por vezes é necessário aplicar tratamentos contra xilófagos (aplicação de inseticida e velatura), que são quantificados em litro (l) e com um custo de mão-de-obra associado. É relevante contabilizar o custo relacionado com o transporte dos materiais, custo este que depende da localização da empreitada. Após adquirir os custos totais parciais destes agrupamentos de elementos, a empresa adiciona uma margem bruta em percentagem (%) e obtém-se o preço total de venda de cada artigo contabilizado.

No campo de ação do Mobiliário HPL é essencial conhecer todos os elementos que compõem a aplicação deste campo de atuação. A aplicação do mobiliário HPL é muito complexo não só pela diversidade de execução de cabines, bancos e cacifos, como também por possuir um conjunto de ligações e suporte muito específico. Deste modo, a orçamentação requer uma medição em m^2 , obtendo a área de mobiliário HPL necessária em projeto, para posteriormente aplicar o preço por m^2 adequável pela R6 LIVING. O custo total da execução

de trabalhos neste campo de ação integra o custo da mão-de-obra e do transporte do material em consideração.

Relativamente à área de intervenção Arquitetura Paisagística- Pavimentos, nos projetos de execução de passadiços, é necessário observar os diversos elementos afetos ao projeto, nomeadamente: soalhos, revestimentos gerais, passadiço e os guarda-corpos. Os soalhos e os revestimentos gerais possuem uma folha de orçamentação igual, dado que basta inserir os dados do pavimento (comprimento e largura) e as propriedades geométricas do material pretendido que a folha de orçamentação elabora o cálculo automático não só da quantidade de ripas e elementos de ligação necessários a utilizar, bem como a quantidade de verniz e outros materiais necessários para a boa execução dos trabalhos. A folha de orçamentação correspondente aos passadiços possui um procedimento idêntico, uma vez que é necessário introduzir os dados do pavimento e as propriedades geométricas dos materiais, tais como o deck, longarinas, travessas e estacas. Após a introdução destes dados, a folha faz o cálculo de todos os elementos necessários para a boa execução dos trabalhos e sobretudo quantifica os varões, porcas, anilhas, parafusos para as longarinas e deck indispensáveis. No processo de orçamentação dos guarda-corpos, é necessário inserir os dados do pavimento e definir as propriedades geométricas dos elementos integrantes dos guarda-corpos, tais como os prumos, corrimão, guarda corpos horizontal e vertical, para obter o custo total da realização de guarda-corpos. Neste custo total, a folha de orçamentação determina a quantidade de varões, porcas e anilhas, parafusos para o corrimão, guarda corpos horizontal e guarda corpos vertical e, caso exista, a corda, necessários para uma execução completa e perfeita dos trabalhos. No custo total parcial, em cada um destes elementos integrantes da execução de trabalhos no âmbito da Arquitetura Paisagística, é contabilizado o custo da mão-de-obra e o respetivo transporte que, associando uma margem bruta em percentagem (%), obtém-se o preço de custo total de cada elemento.

3.1.3. PREPARAÇÃO DE PROJETOS

Na preparação de projetos foram realizados alguns trabalhos de conceção e projeto de estabilidade de construções em estrutura de madeira.

A preparação de projetos integra um conjunto de elementos: os cálculos, desenhos, lista de quantidades, planos de trabalho e planos de higiene e segurança do trabalho (HST).

Nesta tarefa, a estagiária desenvolveu, essencialmente, competências a nível de desenho através das ferramentas informáticas de desenho, *AutoCAD* e *Cadwork*, no âmbito das Estruturas de Madeira, da Arquitetura Paisagística- Pavimentos e do Mobiliário HPL. Em *Cadwork* é possível obter a lista da quantidade de madeira a utilizar no projeto em análise, com as diferentes propriedades geométricas, permitindo comparar as quantidades de material necessário obtidas pelo programa *Cadwork* com o mapa de quantidades fornecido pelo cliente.

3.2. DEPARTAMENTO COMERCIAL

O departamento comercial foi o setor através do qual a estagiária desenvolveu técnicas de apoio comercial, apoio este que se focou essencialmente no desenvolvimento de propostas de orçamento e na preparação de projetos.

As propostas de orçamentos são uma ferramenta essencial neste departamento e são elaboradas com o auxílio de uma folha de cálculo, em ficheiro *MS Excel*, desenvolvida pela empresa. Elas surgem como complemento dos projetos analisados e orçamentados e é o documento que habitualmente se envia ao cliente que solicitou o pedido de orçamentação. Este documento deve conter uma folha de rosto, uma folha correspondente ao orçamento e uma folha sobre informações técnicas. A folha de rosto deve englobar:

- O logotipo da empresa, neste caso o logotipo da empresa R6 LIVING;
- A identificação do cliente com os respetivos contactos (email eletrónico e o contacto telefónico);
- O nome e a localização da empreitada;
- O estado em que se encontra a obra, isto é, se a obra está em fase de estudo, projeto, concurso ou execução;
- A referência afeta à obra, ou seja, sempre que é solicitado à R6 LIVING um orçamento, seja qual for o seu estado, a empresa atribui uma referência/ número à obra em análise e orçamentada;
- A identificação do diretor comercial e os respetivos contactos (email eletrónico e o contacto telefónico), em que este é o elemento da equipa que fica responsável pela adjudicação da obra;

- A identificação do técnico responsável pela análise e orçamentação do projeto e os contactos, email eletrónico e o contacto telefónico;
- A data em que foi elaborada a proposta.

Relativamente à folha correspondente ao orçamento, nesta devem constar todos os artigos que se encontram no mapa de quantidades, com a respetiva medição feita durante a análise de projetos, o preço unitário associado a cada artigo incluindo todos os acessórios e, representado o custo parcial e total afeto à obra em consideração.

Por fim, na folha referente à informação técnica, nesta consta as fichas técnicas dos materiais, integrando a referência a algumas normas aplicáveis aos materiais em consideração.

A estagiária participou num curso de formação promovido pela própria empresa do *software Cadwork*, programa de desenho de estruturas. Este programa informático forneceu um grande apoio neste departamento, na medida em que é possível desenhar a estrutura pretendida para fornecer ao cliente uma visão do resultado do projeto fornecido. A Figura 16 ilustra alguns exemplos de desenhos desenvolvidos pela estagiária no programa informático referido anteriormente.

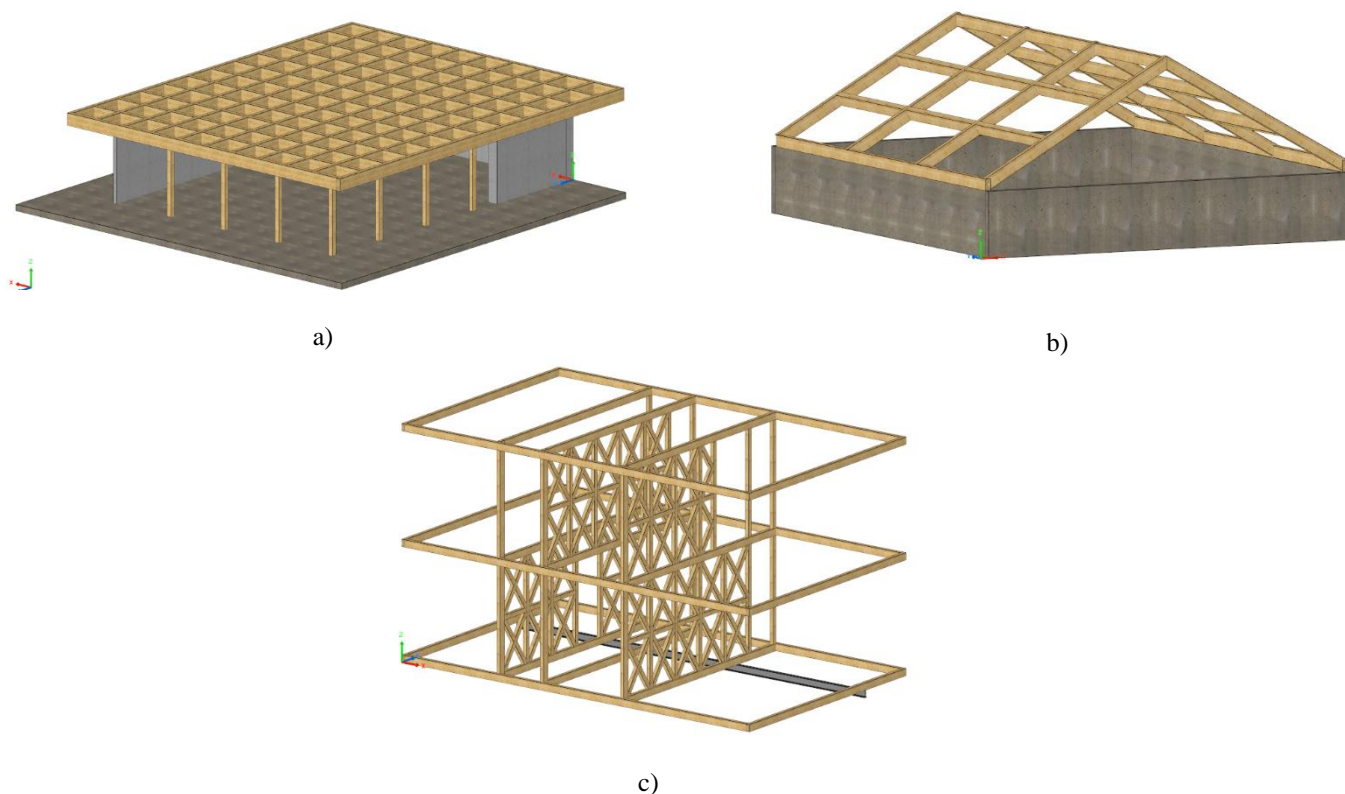


Figura 16 – Exemplos de desenhos desenvolvidos em Cadwork: a) Estrutura de Madeira – Pérgola; b) Estrutura de Madeira – Cobertura; c) Parede de Frontal.

3.3. DEPARTAMENTO DE COMPRAS

Após a adjudicação da obra orçamentada, é no departamento de compras que se efetuam todas as listas e compras dos materiais necessários. Ao responsável deste departamento, são fornecidos todos os desenhos, mapas de quantidades e orçamentos para que, com estes documentos, seja possível realizar listas de materiais, com recurso a uma folha de cálculo em ficheiro *MS Excel*. A estagiária deu auxílio nestes trabalhos, também designados como pré-preparação de obra, e nas listas dos materiais, que são divididas por artigos e integram todos os materiais analisados e contabilizados na orçamentação.

De seguida efetua-se a seleção de fornecedores, com recurso a envio de emails e através de contactos telefónicos. Este processo requer algum tempo, uma vez que para se conseguir preços dos materiais mais acessíveis, é necessário realizar uma comparação de preços entre fornecedores e após esta analogia, tentar negociar um preço mais reduzido, obtendo desta forma maior margem de lucro.

Habitualmente, a empresa agrupa materiais idênticos numa mesma encomenda, caso seja possível, de forma a economizar e tornar mais rentável a deslocação dos materiais. O custo de transporte de vigas de madeira é muito dispendioso e, rentabilizar as encomendas, permite à empresa obter menos gastos a nível da deslocação dos materiais.

3.4. DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO

O departamento de produção é responsável pela verificação do material necessário em obra, por seleccionar e coordenar as equipas para a execução dos trabalhos, por realizar visitas periódicas às obras e pela fiscalização dos trabalhos.

Para verificar o material que será necessário na execução de uma obra adjudicada, este departamento tem de estar em permanente contacto com o departamento de compras e a equipa responsável por este departamento tem de elaborar uma planificação da obra, com recurso ao *MS Project* (*software* de gestão de projetos). Este programa permite averiguar a duração da execução dos trabalhos pretendidos e atribui recursos tais como, equipamentos, materiais e mão-de-obra, às atividades. Através deste programa, o departamento de compras organiza as encomendas e planifica as suas entregas de modo a não atrasar a execução dos trabalhos e em consórcio com a equipa do departamento de produção realiza uma verificação dos materiais aplicados em obra e os materiais em falta.

Esta secção integra ainda visitas e fiscalizações semanais às obras onde a empresa intervém e, a estagiária teve a oportunidade de realizar algumas destas visitas. Estas visitas incidem essencialmente no controlo e fiscalização dos trabalhos efetuados até à data e na realização de reuniões com os encarregados e diretores gerais das obras. O controlo através de visitas periódicas às obras é essencial para assegurar que os trabalhos são efetuados de acordo com o estipulado nos desenhos e para certificar que não existem atrasos nos trabalhos a executar, pois um atraso numa obra significa despesas adicionais e, eventualmente, multas para a empresa. No entanto, a fiscalização dos trabalhos existe para verificar que as equipas de trabalho cumprem todos os requisitos de segurança necessários para a execução dos trabalhos.

PARTE II – VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE ESTRUTURAS EM MADEIRA

A segunda parte surge como elemento de inovação deste estágio curricular, uma vez que a utilização da madeira como elemento construtivo é uma área extensa e pouco explorada da engenharia civil.

É revelante referir que todos os cálculos que se ilustrarão nesta parte do presente relatório de estágio curricular, integram as condições impostas fundamentalmente pelo regulamento em vigor da Norma Europeia Eurocódigo 5 e as restantes normas para elementos construtivos em madeira.

4. PROJETOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Como já foi referido, atualmente, a madeira é um dos materiais mais utilizados na construção.

A verificação da segurança de estruturas de madeira é um processo semelhante à verificação da estabilidade de estruturas de betão armado e metálicas, em que as dificuldades associadas a estas tarefas surgem essencialmente na obtenção dos valores de cálculo para as propriedades dos materiais e na escolha dos modelos de cálculos mais apropriados a cada situação, tendo sempre em consideração as soluções de ligações adotadas.

Tendo a madeira e os seus derivados origem orgânica, há que ter em conta as especificidades da mesma, uma vez que implica uma capacidade de resistência aquando sujeitos a ações de degradação diferentes dos materiais de origem mineral, isto é, implica a necessidade de resistir à ação de fungos, insetos ou até mesmo xilófagos marinhos.

Outra questão muito importante prende-se com o comportamento ao fogo das estruturas. Geralmente, as estruturas de madeira possuem uma excelente resistência ao fogo mas, em contrapartida, a madeira é um material combustível daí apresentar um défice em termos de reação ao fogo.

4.2. A MADEIRA NO ÂMBITO DA CONSTRUÇÃO

A madeira no âmbito da Engenharia Civil apresenta uma variedade de vantagens sob os mais diferentes pontos de vista, fomentando a construção habitacional em madeira nos países desenvolvidos como a Noruega, Suécia, Canadá e Austrália. A madeira é o único material de construção, comparativamente ao aço, betão e alumínio, que é reciclável, renovável e biodegradável, e que despende de menor energia para a sua transformação.

A origem da madeira é muito importante uma vez que as suas propriedades se alteram consoante a espécie, idade, localização e as condições de crescimento da árvore. A madeira é um material combustível porque é consumida pelo fogo, porém apresenta uma temperatura de ignição relativamente elevada (acima dos 400°C), sendo que o risco de ignição depende das propriedades descritas anteriormente. Portanto, observa-se que a madeira exhibe um bom comportamento à resistência ao fogo (H. Negrão, 2004).

Devido à madeira ser um ser vivo, a mesma apresenta uma heterogeneidade e anisotropia acentuada. A heterogeneidade deve-se à diferenciação entre o lenho de Outono e o lenho de Primavera, que ocorrem em proporções muito variáveis de peça para peça mesmo quando extraídas da mesma árvore, e também às tensões provocadas pela retração induzida no seio, que determinaram as características mecânicas. A anisotropia implica que as propriedades mecânicas dependam da disposição das fibras, isto é, para cada tipo de solicitação simples (compressão, tração e corte) se realizem determinações segundo as três direções principais: axial, tangencial e radial.

4.3. METODOLOGIA GERAL DE CÁLCULO

A metodologia geralmente utilizada para o cálculo de projetos em estruturas de madeira, é ilustrada na Figura 17.



Figura 17 - Metodologia de cálculo para projetos em estruturas de madeira (Faria & Negrão, 2009).

Para elaborar projetos de estruturas de madeira, é necessário ter um conjunto de conhecimentos prévios de alguns dados, nomeadamente:

- Disponibilidade de materiais;
- Ações;
- Modelo de cálculo dos esforços atuantes e das deformações e vibrações provocadas pelas ações atuantes;
- Modo de calcular a capacidade resistente das estruturas, considerando a resistência individual dos elementos de madeira, os efeitos das ligações entre estes elementos e as fundações, utilizando as metodologias de verificação de segurança estrutural definidos no EC5;
- Acesso a informações técnicas e a disponibilidade de soluções ao nível do pré-fabricado e sistemas de ligação que possibilitam aos projetistas desenvolver soluções que o mercado esteja apto a realizar.

4.4. AÇÕES E COMBINAÇÕES DE AÇÕES

A quantificação dos esforços atuantes é obtida pelas combinações de ações, de forma idêntica a qualquer outro projeto de estruturas. A quantificação das ações é feita de acordo

com o RSA e a verificação da segurança de acordo com o previsto no EC5. Por questões de coerência com os Eurocódigos para verificar a segurança, deve usar-se preferencialmente o EC1 (NP EN 1991-1 e NP EN 1991-2) na quantificação das ações.

Assim, devem ser consideradas no cálculo todas as ações de aplicação direta, tais como cargas permanentes, sobrecargas, vento, neve e sismos, bem como as ações indiretas de aplicação, nomeadamente os assentamentos de apoios e cargas induzidas pelas variações dos teores de água das peças de madeira. As ações devem ser quantificadas para toda a vida útil da estrutura, tendo ainda em consideração o seu caráter estático ou dinâmico.

Segundo o imposto pelo EC5, o cálculo de estruturas de madeira deve recorrer à verificação aos estados-limite últimos de segurança e utilização. No cálculo das ações, este não ilustra grandes especificidades, com exceção dos efeitos da duração das ações e do teor em água da madeira, que influenciam as propriedades dos materiais e o comportamento global da estrutura. O EC5 preconiza a influência destes fatores através da quantificação de parâmetros adequados (k_{mod} e k_{def}), que serão descritos mais à frente do presente documento.

Preferencialmente, serão usadas as seguintes partes da norma EN 1991 (2002):

- EN 1991-1-1: Pesos volúmicos, próprios e sobrecarga;
- EN 1991-1-3: Ações da neve;
- EN 1991-1-4: Ações do vento.

4.5. CLASSE DE SERVIÇO E DE DURAÇÃO DAS AÇÕES

O cálculo das estruturas de madeira deve ser efetuado de forma diferente, uma vez que o ambiente em que se encontram influenciam as condições de equilíbrio térmico e higrométrico, refletindo-se em diferentes dimensões das peças consoante o teor de água em que se encontram.

Através do conceito de classe de serviço, preconizado no EC5, esta questão é resolvida. Assim, as classes de serviço previstas no EC5 são três, classe de serviço 1 a 3 e correspondem sensivelmente às classes de risco definidas na norma EN 335-1, nas quais se traduz a durabilidade natural da madeira face às condições ambientais em que se encontra, tendo uma elevada influência no que diz respeito à capacidade resistente e durabilidade.

A norma NP EN 335-1 (1994) especifica as cinco classes de risco e serão apresentadas de seguida na Tabela 1.

Tabela 1– Classes de risco (Adaptado da NP EN 335-1).

Classe de risco	Situações gerais de serviço	Exposição à humidade	Teor em água
1	Ambiente interior protegido	Nenhuma	$\leq 20\%$
2	Ambiente interior não protegido ou exterior não sujeito à ação direta da água das chuvas e com contactos muito esporádicos com água líquida	Ocasional	Ocasionalmente $> 20\%$
3	Ambiente exterior com contactos frequentes com águas das chuvas, muitas vezes em períodos longos	Frequente	Frequentemente $> 20\%$
4	Em contacto permanente com água doce em fase líquida	Permanente	Permanentemente $> 20\%$
5	Permanentemente imerso em água salgada	permanente	Permanentemente $> 20\%$

As classes de serviço preconizadas no EC5 correspondem sensivelmente às três primeiras classes de risco, pois o EC5 não se aplica as estruturas que se encontram sujeitas às classes de risco 4 ou 5. A Tabela 2 ilustra de forma mais detalhada as classes de serviço definidas pela EC5.

Tabela 2 – Classes de serviço (Adaptado do EC5).

Classe de serviço	Condições Ambientais	Localização
1	T=20°C HR>65% em poucas semanas do ano	Estruturas interiores em geral
2	T=20°C HR>85% em poucas semanas do ano	Estruturas exteriores cobertas
3	HR>HR classe 2	Estruturas em ambientes muito húmidos (interiores ou exteriores)

Relativamente à classe de duração das ações, o EC5 prevê cinco categorias associadas à duração acumulada dos valores das ações, conforme será apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Classes de duração das ações (Adaptado do EC5).

Classe de duração das ações	Valor da duração da ação característica	Designação da ação
Permanente	>10 anos	Peso próprio
Longa duração	Entre 6 meses a 10 anos	Sobrecargas de carácter permanente
Média duração	Entre 1 semana a 6 meses	Sobrecargas correntes, neve em certos casos
Curta duração	< 1 semana	Vento, neve em certos casos
Instantânea		Vento, sismos, ações de acidente

Em Portugal, a neve é sempre considerada como uma ação de curta duração e as sobrecargas são consideradas de média duração.

Para verificar a estabilidade das estruturas, os coeficientes de segurança são definidos em função de dois parâmetros escolhidos para cada situação, em função da classe de serviço e

da duração da ação (k_{mod} e k_{def}) e dos coeficientes de segurança para os materiais a utilizar (γ_M), que será devidamente explicado nos capítulos mais à frente.

4.6. MODELOS DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Geralmente, para os modelos de cálculo são aplicados os princípios da Resistência de Materiais e da Teoria das Estruturas. No entanto, no caso particular de projetos de estruturas de madeira, é fundamental ter em consideração o comportamento anisotrópico da madeira que, devido à sua composição celular (células de celulose alinhadas no sentido do fio da madeira), confere uma elevada resistência nessa direção.

A madeira tem um comportamento mecânico transverso isotrópico e, de forma simples, assume uma resistência uniforme em qualquer direção, conferindo-lhe assim duas direções resistente: a direção do fio e a direção perpendicular ao fio. Deste modo, os projetistas têm de deter alguma habilidade rigorosa na identificação dos esforços, no plano perpendicular ao fio ou efetuando esforços ângulos com o fio, uma vez que a capacidade resistente das peças, nestes planos, reduz consideravelmente.

É necessário ter em consideração os efeitos que o modo de ligação entre as peças influencia o comportamento estrutural das estruturas globais, visto que existe sempre alguma ductilidade e deformabilidade, não sendo possível reconhecer com rigor se a ligação é rígida ou articulada. Para solucionar este problema, utiliza-se muitas vezes, e em simultâneo, modelos de cálculo contínuos e articulados para a mesma estrutura usando a envolvente de esforços dos dois modelos no cálculo orgânico.

A maior dificuldade no cálculo de estruturas de madeira incide no domínio das ligações que, associado à dificuldade em conhecer rigorosamente a capacidade resistente das peças, induz a coeficientes de segurança elevados. Nesse contexto, é dispensável o recurso a métodos de cálculo mais sofisticados, sendo importante identificar com rigor a ordem de grandeza das tensões, deformações e vibrações atuantes e dimensionar sempre com alguma segurança e conforto.

O fator condicionante do dimensionamento é o estado-limite de utilização, uma vez que a madeira apresenta um módulo de elasticidade baixo, quando comparado com as principais propriedades mecânicas de resistência da madeira. O comportamento às vibrações é também

um problema na medida em que a madeira tem um coeficiente de amortecimento baixo, dificultando a dissipação rápida da energia vibratória atuante sobre as peças.

4.7. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

A verificação de segurança de estruturas de madeira é executada de acordo com o preconizado no EC5, que de momento é dividido em três partes que se enumeram:

- EN 1995-1-1 (2004) – Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1.1: General. Common rules and rules for buildings;
- EN 1995-1-2 (2004) – Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1-2: General. Structural fire design;
- EN 1995-2 (2004) – Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 2: Bridges.

A parte 1-1 do EC5 apresenta modelos de cálculo e os diversos formulários, especificamente aplicados à avaliação da capacidade resistente de elementos estruturais em madeira, para verificar os estados limites últimos e de utilização. Esta parte do EC5 ilustra ainda um formulário complexo e requisitos para o dimensionamento geométrico de diversos ligadores aplicáveis a estruturas de madeira.

A parte 1-2 define as regras gerais de verificação de segurança das estruturas de madeira aquando sujeitas ao incêndio. Este documento integra diversos métodos de verificação de aplicação simples, para os diversos elementos que compõem uma estrutura de madeira, com e sem proteção adicional ao fogo.

A parte 2 do EC5 preconiza todos os requisitos e regras, de forma simples, a aplicar especificamente ao caso de pontes correntes.

4.8. ESPECIFICIDADES DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

A madeira incorpora um conjunto de problemas, dos quais os mais importantes a referir são:

- A obrigatoriedade de analisar o problema das vibrações;
- A obrigatoriedade de efetuar análises lineares de segunda ordem em algumas estruturas;
- A dificuldade de calcular ligações;

- A importância que o modo de ligar as peças tem nos esforços a que a estrutura está sujeita; a necessidade de escolher bem o modelo de cálculo de acordo com o processo de ligação pretendido;
- A importância da deformação, em que na maioria dos casos este estado limite de utilização é crucial no que diz respeito ao dimensionamento;
- As variações dimensionais das peças, originadas pela variação da temperatura e humidade do ambiente envolvente das estruturas;
- A anisotropia da madeira e a respetiva influência no modo de execução das peças;
- A durabilidade e preservação da madeira;
- O comportamento que a madeira tem quando exposta ao fogo.

5. MADEIRAS EM ESTRUTURAS

A madeira resulta da transformação do lenho da árvore e esta fase é muito importante para a boa identificação da espécie, pois terá um grande impacto no que diz respeito às suas propriedades e capacidade resistente.

Uma árvore é constituída por raiz, caule (ou tronco) e copa. O tronco serve de apoio à copa com ramificações e conduz, através da capilaridade, a seiva bruta (desde a raiz até às folhas da copa) e a seiva elaborada (das folhas para o lenho de crescimento). O lenho é a secção do tronco utilizada para a produção de elementos de madeira. Este pode ser dividido em borne e cerne. O borne, parte externa do lenho, é mais jovem e apresenta uma cor mais clara, visto que é composto por células vivas e ativas, e tem função resistente e transportadora de seiva bruta. O cerne encontra-se no interior do tronco e é constituído por células mortas. Dentro do lenho, os anéis de crescimento são facilmente reconhecíveis e permitem não só estabelecer a idade da árvore, como também ajudar no estudo da anisotropia da madeira (Cachim, 2007).

Em relação à composição química da madeira, é de notar que os principais constituintes são: a celulose, a hemicelulose e a lenhina. A celulose constitui cerca de 40-50% e é responsável pela higroscopicidade da madeira, sendo que apresenta uma grande resistência mecânica. A hemicelulose tem como função unir as diferentes fibras de celulose e compõe cerca de 20-30%. A lenhina serve para conceder existência ao corte e à compressão, integrando cerca de 20-30% na madeira. Por fim, o resto é composto por resinas, proteínas, pectinas e ceras (5-7%), (Faria & Negrão, 2009).

A madeira em estruturas tem numerosas aplicações e isso deve-se ao aparecimento de produtos derivados da madeira. O surgimento de derivados permitiu, ao mundo da construção, elaborar projetos e estruturas mais complexas e melhorar as características da madeira de um ponto de vista mecânico e físico.

Assim, as características físicas e biológicas da madeira são fatores revelantes para definir a sua capacidade estrutural. É importante referir que as principais características que influenciam a resistência mecânica são:

- Espécie botânica;

- Localização dentro do lenho;
- Humidade;
- Massa volúmica.

O conhecimento da espécie botânica é importante devido à grande heterogeneidade de espécies existente, isto é, dentro da mesma espécie podemos verificar diferenças entre uma e outra árvore. No que diz respeito à localização do lenho, as características dos elementos de madeira alteram-se consoante a zona de proveniência, quer a nível transversal, quer a nível longitudinal, uma vez que cada zona de árvore tem diversas características relativamente ao tecido lenhoso. A humidade afeta a qualidade da celulose, tornando a madeira vulnerável a ataques biológicos, pois quanto menor for o valor de humidade, mais resistente é a peça de madeira. Por último, a massa volúmica é um bom indicador da qualidade da madeira sem defeitos. Este parâmetro pode variar de espécie para espécie, mesmo entre elementos provenientes da mesma árvore.

As madeiras consideradas para o dimensionamento que se descreverá ao longo deste capítulo serão:

- Madeira Maciça;
- Madeira Lamelada Colada (Glulam);
- Madeira Micro-Laminada Colada (LVL).

5.1. MADEIRA MACIÇA

Como já referido anteriormente, a madeira maciça provém diretamente dos troncos das árvores, sem necessitar de qualquer tipo de colagem e, por essa razão, a sua aplicação nas estruturas deve ser qualificada em classes de qualidade e resistência.

As madeiras maciças podem ser divididas em dois grandes grupos: a espécie de classe resinosa e espécie da classe folhosa. As resinosas caracterizam-se por possuir folha persistente e frutos em forma de cone, como por exemplo o pinho e a casquinha. Por outro lado, as folhosas são as únicas que produzem madeira com estrutura lenhosa, tendo como principal destaque os frutos de grande porte, flores com pétalas e folhas que apresentam uma rede de nervuras. Como exemplo deste grupo tem-se o carvalho, o eucalipto, a cerejeira e o castanho (Ramos, 2010).

A utilização da madeira maciça como elemento estrutural na construção é vantajosa na medida em que é um produto de origem natural e renovável, um excelente isolante térmico e acústico (que reduz a quantidade de energia necessária na climatização de espaços e tem boas condições a nível da absorção acústica), é fácil de trabalhar (material versátil de forma muito variada, cumpre com certas especificações a aplicação pretendida e permite uma simples execução de ligações e emendas). Este material apresenta ainda uma boa durabilidade e segurança, pois ao longo do tempo os materiais tendem a perder as suas qualidades, mas no caso da madeira isso não se verifica aquando tomadas as devidas medidas preventivas, sendo reutilizável provoca um reduzido impacto ambiental e exhibe boas propriedades físico-mecânicas aquando comparada com outros materiais.

No entanto, este material exhibe algumas limitações pois sendo um material fundamentalmente heterogéneo e anisotrópico, torna-se muito sensível ao ambiente, aumentando e diminuindo as suas dimensões com a variação de humidade, é vulnerável a agentes externos e tem custos de manutenção para que sua durabilidade se mantenha (“Uso de Madeira Maciça- Vantagens e desvantagens,” 2008).

A qualidade da madeira estrutural e a definição dos principais parâmetros definidores das características físicas e de resistência de elementos estruturais em madeira, são os critérios essenciais no método de classificação das madeiras. A classificação das madeiras é um procedimento com o objetivo de agrupar o material, independentemente da espécie ou proveniência, satisfazendo determinados padrões de resistência, aparência, durabilidade ou outro critério revelante para o fim em vista. Deste modo, a classificação permite que os projetos sejam efetuados de uma forma mais simples e a relação entre preço-qualidade seja mais clara (Faria & Negrão, 2009).

Na classificação das madeiras existem dois métodos correntes: a classificação visual e a classificação por máquina. A classificação visual é estabelecida pela análise: das características como a massa volúmica, dos defeitos da madeira associados à sua estrutura (nós, inclinação do fio, bolsas de resina); ao corte aplicado e às alterações provocadas à madeira (empenos, fendas, degradação biológica); da limitação destes parâmetros de acordo com uma norma que define os limites dos defeitos para cada grupo de madeiras, em que cada um destes grupos constitui uma classe de qualidade (Faria & Negrão, 2009).

A classificação por máquina, tal como indica o nome, é um procedimento na qual a madeira é classificada por um sensor de uma máquina, num processo não destrutivo, na qual se determina uma ou mais propriedades, usualmente o módulo de elasticidade, não sendo necessário recorrer à inspeção visual. Por este ensaio a madeira é classificada em classes, às quais podem ser ligados valores característicos de resistência, massa volúmica, rigidez, entre outros (Faria & Negrão, 2009).

Segundo o sistema europeu, a classificação da madeira em classes de qualidade pelos dois métodos anteriormente ilustrados (classificação visual e classificação por máquina), baseia-se nas seguintes normas:

- *EN 14081-1 – Timber Structures – Strenght graded stuctural timber with rectangular cross section – Part 1- General requirements;*
- *EN 14081-2 – Timber Structures – Strenght graded stuctural timber with rectangular cross section – Part 2- Machine grading: additional requirements for initial type testing;*
- *EN 14081-3 – Timber Structures – Strenght graded stuctural timber with rectangular cross section – Part 3- Machine grading: additional requirements for fatory production control;*
- *EN 14081-4 – Timber Structures – Strenght graded stuctural timber with rectangular cross section – Part 4- Machine grading – grading machine settings for machine controlled systems.*

A correspondência entre as classes de qualidade e a classe de resistência tem como base a norma NP EN 1912:2007 – Madeiras para estruturas- Classes de resistência- Atribuição de classes de qualidade e espécies. Esta norma apresenta uma extensa listagem de classes de resistência e correspondentes classes de qualidade, dependendo das espécies da madeira e das normas aplicadas nos países europeus, pelo que serão apenas apresentados na Tabela 4 alguns exemplos concretos.

Tabela 4- Relação entre classes de qualidade e classes de resistência (NP EN 1912: 2007).

Espécie da madeira	Classe de Qualidade (Norma)	Classe de Resistência
Pinho Bravo (<i>Pinus pinaster</i>)	E (NP 4305)	C18 ¹
Casquinha (<i>Pinus silvestris</i>)	SS (BS 4978)	C24
	GS (BS 4978)	C16
Abeto / Espruce (<i>Picea abies</i>)	S13 (DIN 4074)	C30
	S10 (DIN 4074)	C24
	S7 (DIN 4074)	C16

Pela tabela podemos observar que a única espécie de madeira com norma de classificação em classe de qualidade existente em Portugal é o Pinho Bravo (*Pinus pinaster*). Deste modo, a norma aplicável a esta espécie é a NP 4305:1995 – Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas – Classificação visual. Esta norma permite classificar a madeira pinho bravo nas classes de qualidade E e EE, sendo que as propriedades destas classes correspondem, aproximadamente, às classes C18 e C35 da EN 338, respetivamente. A classe de qualidade EE (Especial Estruturas) não é possível encontrar em Portugal, pelo que a sua referência no presente documento apenas ilustra o elevado potencial desta madeira como elemento estrutural.

As Tabela 5 e 6 enobrecem os valores de cálculo das principais propriedades físicas e mecânicas a ter em consideração no cálculo de estruturas em madeira.

¹ Para a classe E do Pinho Bravo, recomenda-se a adoção dos valores indicados na Ficha LNEC M2: “Pinho Bravo para estruturas”.

Tabela 5 - Propriedades físicas e mecânicas de madeira para estruturas- **Espécies Resinosas**.

		C14	C16	E	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Propriedades resistentes N/mm² (MPa)														
Flexão	$f_{m,k}$	14	16	18	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tração	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,46	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	6,9	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9	3,2
Corte	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Propriedades de rigidez kN/mm² (GPa)														
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	7	8	12	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Módulo de Elasticidade (5° percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	8,0	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Módulo de Distorção	G_{mean}	0,44	0,50	0,75	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Massa Volúmica em kg/m³														
Média	ρ_{mean}	350	370	580	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabela 6 - Propriedades físicas e mecânicas de madeira para estruturas- **Espécies Folhosas**.

		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propriedades resistentes em N/mm² (MPa)									
Flexão	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Tração	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Corte	$f_{v,k}$	3,0	3,0	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Propriedades de rigidez em kN/mm² (GPa)									
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	9,5	10	10	10	11	14	17	20
Módulo de Elasticidade (5° percentil)	$E_{0,05}$	8,0	8,0	8,5	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Módulo de Distorção	G_{mean}	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9	1,1	1,3
Massa Volúmica em kg/m³									
Média	ρ_{mean}	570	580	640	670	700	780	840	1080

É de salientar a importância das tabelas exibidas para o desenvolvimento da presente parte integrante do documento, uma vez que estas tabelas serão fundamentais para o dimensionamento e verificação de segurança de elementos estruturais em madeira.

5.2. MADEIRA LAMELADA COLADA

A madeira lamelada colada ou Glulam é constituída por elementos de madeira resinosas classificadas e selecionadas, justapostas e firmemente ligadas por cola apropriada. A Glulam é obtida pela colagem de lamelas de madeira sobrepostas topo a topo, como referido no capítulo 2 do presente documento. No processo de produção deste material, o tipo de cola utilizado é essencial porque tem de possuir boas características mecânicas e resistência à humidade, elevada durabilidade e bom comportamento ao fogo. Devido a este bom desempenho, a aplicação da madeira lamelada colada vai desde pequeno passadiços, escadas e abrigos até grandes estruturas geradas sob as mais diversas formas estéticas.

Assim, o emprego deste material na construção civil tem inúmeras vantagens, como por exemplo: a dimensão das peças serem muito variáveis, uma vez que os vãos podem estender-se até 40 metros e as alturas da secção até 2 metros; a forma da viga poder ser curva e/ou de inércia variável, com custos geralmente moderados; tem uma rigidez e resistência superior à da madeira maciça; tem um bom aproveitamento e exploração da madeira e devido a exigências de fabrico, o teor de água é reduzido até cerca de 12%, diminuindo os riscos de danificações no material causado pelas deformações na e após a construção (H. Negrão, 2004).

A madeira lamelada colada possui um processo de produção muito complexo que exige uma fastigiosa precisão, de forma a garantir os valores de cálculo pretendidos. Logo, o seu fabrico obriga a um conjunto de normas (normas de produção e normas de produto), de modo a garantir o nível de qualidade. Relativamente às normas de produção, onde se especificam os requisitos dos processos de fabricos, as condições gerais de produção e controlo encontram-se nas seguintes normas:

- NP EN 386:2001 – Madeira Lamelada Colada- Requisitos de desempenho e requisito mínimos de produção;
- NP EN 385:2001 – Madeira para estruturas com ligações de entalhes múltiplos - Requisitos de desempenho e requisitos mínimos de produção;
- EN 387:2001 – *Glued Laminated timber. Large finger joints- Performance requirements and minimum product requirements.*

As normas de produto especificam as características físicas e mecânicas dos produtos a fabricar e os requisitos a cumprir são estabelecidos na norma *EN 14080:2013 – Timber structures- Glued Laminated timber - Requirements*.

De modo a auxiliar projetistas nacionais, a norma NP EN 1194:2003 – Estruturas de Madeira- Madeira Lamelada Colada - Classe de resistência e determinação dos valores característicos, permite recolher dados sobre as propriedades físicas e mecânicas a utilizar no cálculo de elementos estruturais de madeira. Nesta norma apresentam-se dois tipos de madeira lamelada colada: homogénea, constituída por lamelas da mesma classe de resistência e da mesma espécie botânica; e combinada, que por sua vez é constituída por lamelas interiores e exteriores que pertencem a diferentes classes de resistência e espécie. As lamelas exteriores são de uma classe de resistência superior, uma vez que serão estas lamelas a suportar os esforços mecânicos mais elevados (Faria & Negrão, 2009).

As Tabela 7 e 8 ilustram as propriedades físicas e mecânicas da madeira lamelada colada homogénea e combinada, respetivamente, segundo a norma em vigor NP EN 1194:2003, anteriormente referida.

Tabela 7 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira lamelada colada homogénea.

		GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h	GL36h
Propriedades resistentes em N/mm² (MPa)									
Flexão	$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32	36
Tração	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
Compressão	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,6
Corte	$f_{v,k}$	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,3
Propriedades de rigidez em kN/mm² (GPa)									
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	8,4	10,5	11,5	12,1	12,6	13,6	14,2	14,7
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$	7,0	8,8	9,6	10,1	10,5	11,3	11,8	11,9
Módulo de Distorção	G_{mean}	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,91
Massa Volúmica em kg/m³									
Média	ρ_{mean}	370	410	420	445	460	480	490	450

Tabela 8 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira lamelada colada combinada.

		GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c	GL36c
Propriedades resistentes em N/mm² (MPa)									
Flexão	$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32	36
Tração	$f_{t,90,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5	0,6
Compressão	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,6
Corte	$f_{v,k}$	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,3
Propriedades de rigidez em kN/mm² (GPa)									
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	10,4	10,4	11	12	12,5	13	13,5	14,7
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$	8,6	8,6	9,1	10,0	10,4	10,8	11,2	11,9
Módulo de Distorção	G_{mean}	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,91
Massa Volúmica em kg/m³									
Média	ρ_{mean}	390	390	400	420	420	430	440	450

Todos os dados apresentados nas tabelas anteriormente referidas, são essenciais para o dimensionamento e verificação de segurança de elementos estruturais em madeira, que compõem a segunda parte do presente relatório.

5.3. MADEIRA MICRO-LAMINADA COLADA - LVL

A madeira micro-laminada colada, também denominada KERTO- LVL (na Europa), é um derivado de madeiras resinosas para fins estruturais e é constituído por lâminas essencialmente de Abeto, coladas a quente e paralelas umas às outras, dando origem a grandes painéis com espessura máxima no valor de 90mm. Este produto, de origem finlandesa, representa uma evolução inovadora e moderna da construção, uma vez que permite a elaboração de estruturas que geralmente não se efetuavam em madeira (Jular, 2017a).

Devido à inovação e modernização dos sistemas construtivos, este material apresenta diversas vantagens relativamente ao seu aspeto, pois apresenta uma beleza estética natural da madeira e uma elevada resistência ao fogo, um excelente desempenho a nível acústico e uma flexibilidade dimensional, uma vez que os painéis podem ser fabricados com largura e comprimento desejados, apresentando a possibilidade de se adaptar a superfícies curvas (Portal da Madeira, 2009).

O KERTO-LVL aplica-se na reconstrução de coberturas e lajes, confecção de paredes estruturais e não estruturais, pontes e pisos. No entanto, também pode ser utilizado em estruturas mais leves como corrimões de escadas, degraus, estruturas de móveis, batentes de portas e janelas, toldos para eventos, etc.

No mercado atual, o KERTO-LVL dá origem a três produtos distintos: KERTO-S, KERTO-Q e KERTO-T, todos eles com propriedades muito distintas e dependentes da aplicação pretendida. O KERTO-S por possuir as folhas orientadas longitudinalmente, é produzido para usos estruturais do tipo viga e pilar e a sua espessura varia entre 21-90 mm. O KERTO-Q detém de pelo menos uma folha orientada no sentido transversal (variando a espessura de 21-69 mm), conferindo-lhe uma maior estabilidade dimensional e uma resistência mais uniforme as duas direções principais de inércia, tornando este material adequado para aplicação de lajes. Por último, o KERTO-T é fabricado a partir de madeiras com uma menor qualidade e massa volúmica, possuindo espessuras mais reduzidas (entre 39-45 mm), e é usado para a construção de estruturas mais leves (Faria & Negrão, 2009).

Embora não existam ainda normas de produto que definam os valores de cálculo de forma objetiva, o EC5 permite a utilização do KERTO. Assim, as normas aplicáveis a este produto são:

- *EN 14374:2004 – Timber structures- Structural Laminater Veneer Lumber- Requirements;*
- *EN 14279:2004 – Laminated Veneer Lumber (LVL) - Definitions, classification and specifications.*

Os valores de cálculo dos três tipos de KERTO-LVL, ilustrados na Tabela 9, são definidos no Documento de Homologação finlandês do produto, nº 184/03 de 20 de outubro de 2005, emitido pelo *VTT Technical Research Center of Finland* (Finnforest, 2016).

Tabela 9 – Propriedades físicas e mecânicas do KERTO-LVL.

		KERTO-S 21-90mm	KERTO-Q 21-24mm	KERTO-Q 27-69mm	KERTO-T 39-45mm
Propriedades resistentes em N/mm² (MPa)					
Flexão	$f_{m,k}$	50	32	36	32
Tração	$f_{t,90,k}$	35,0	19,0	26	24,0
Compressão	$f_{c,90,k}$	6,0	9,0	9	4,0
Corte	$f_{v,k}$	4,1	4,5	4,5	2,4
Propriedades de rigidez em kN/mm² (GPa)					
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	13,8	10,0	10,5	10,0
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$	11,6	8,3	8,8	8,8
Módulo de Distorção	G_{mean}	0,6	0,6	0,6	0,6
Massa Volúmica em kg/m³					
Média	ρ_{mean}	510	510	510	410

É importante referir que os valores apresentados na tabela anterior serão utilizados na folha de cálculo desenvolvida, para o dimensionamento e verificação de segurança de estruturas em madeira.

6. EUROCÓDIGO 5

6.1. APRESENTAÇÃO GERAL

Em Portugal, os projetistas encontram alguns obstáculos, pelo facto de nunca ter havido um regulamento de origem nacional para o dimensionamento de estruturas de madeira. O EC5 surge para resolver esta lacuna, mas existe apenas a parte 1-1 do EC5 traduzida e publicada em português, em 1998.

No entanto, já é um grande auxílio a existência deste documento traduzido, uma vez que possibilita, aos projetistas sem experiência de cálculo de estruturas de madeira, a utilização direta do documento traduzido, eliminando a existência de eventuais dúvidas de vocabulário e interpretação.

O EC5 aplicado ao dimensionamento e verificação de segurança de estruturas em madeira, constitui o primeiro passo de um processo que leva à conceção da estrutura. O primeiro passo deste processo é a conceção do sistema estrutural, conhecendo o seu comportamento e patologias para obter soluções construtivas, simulando a estrutura com recurso a modelos analíticos, aplicados quer a estruturas novas, quer a estruturas de reabilitação. Ainda assim, uma dificuldade recorrente nas estruturas em madeira é não conseguir retratar fielmente o comportamento real da estrutura devido à complexidade na caracterização das ligações e na limitação das condições de apoio.

O EC5 institui um processo de dimensionamento baseado na noção dos estados-limites, com coeficientes parciais de segurança e, dá destaque à resistência mecânica, comportamento em serviço, durabilidade e resistência ao fogo, fazendo com que o regulamento se divida em três partes, como já descritas no capítulo anterior.

A parte 1-1 do EC5 estabelece os princípios gerais para o projeto de estruturas de madeira e as regras específicas para edifícios. Deste modo, o EC5- Parte 1-1 integra os seguintes capítulos:

1. Generalidades;
2. Bases para o projeto;
3. Propriedades dos materiais;

4. Durabilidade;
5. Bases para a análise estrutural;
6. Estados-limite últimos;
7. Estados-limite de utilização;
8. Ligações com ligadores metálicos;
9. Componentes e sistemas estruturais;
10. Disposições construtivas e controlo.

De entre todos estes capítulos descritos, os capítulos 1 a 5 elucidam os princípios fundamentais que devem ser utilizados na verificação da estabilidade das estruturas de madeira, enquanto os restantes capítulos estabelecem as regras e requisitos de cálculo para elementos e sistemas estruturais, esforços simples e combinados, verificação dos estados-limite e, tem ainda, um capítulo essencial e específico para as ligações.

No princípio deste documento, é apresentada uma lista da nomenclatura utilizada ao longo do presente trabalho.

6.2. BASES DE PROJETO: REQUISITOS

O dimensionamento e verificação de segurança nos projetos de estruturas de madeira devem assentar-se de acordo com os princípios gerais estabelecidos na EN 1990:2002 (Eurocódigo 0), utilizando as ações definidas pelos projetistas nas regras estabelecidas pela norma de ações EN 1991:2002 (EC1) e, recorrendo aos métodos definidos pelos vários capítulos do EC5, avalia a capacidade resistente, as condições de utilização e a durabilidade.

É importante salientar os aspetos fundamentais específicos das estruturas de madeira, nomeadamente a questão da duração das ações, a importância do teor de água e a definição dos princípios de cálculo segundo a metodologia dos estados-limite. Para o estado-limite de utilização introduzem-se os conceitos de fator de deformação (k_{def}) e o módulo de deslizamento (k_{ser}), que solucionam as questões relacionadas com a duração de ações, fluência e classes de serviço.

Os valores característicos dos materiais são definidos nas normas europeias indicadas no EC5 e, a partir destes, calculam-se os valores de cálculo das propriedades dos materiais, com recurso à aplicação de coeficientes parciais de segurança (γ_M). Este processo de cálculo é

efetuado aos estados-limite (últimos e de utilização) que serão explicados nos capítulos seguintes e estes modelos de cálculo devem ter em consideração:

- As diferentes propriedades dos materiais, como por exemplo, a resistência e a rigidez;
- Os distintos comportamentos dos materiais ao longo do tempo;
- As diversas condições climáticas, tal como a temperatura e a variação de humidade;
- As diferentes situações de cálculo, isto é, a fase de construção e as alterações das condições de apoio.

Geralmente, o cálculo estrutural é efetuado a partir dos valores médios para a determinação dos parâmetros de rigidez ($E_{mean}, G_{mean}, K_{ser}$). No entanto, esta situação só é válida não só quando todos os elementos têm as mesmas propriedades em função do tempo, mas também quando se usam métodos de análise linear elástica de primeira ordem.

Para elementos estruturais em madeira, é necessário a verificação às deformações, aos efeitos desagradáveis provocados pelas vibrações e as limitações do deslizamento das ligações entre estes elementos. As deformações resultantes da aplicação de ações e da variação do teor em água devem cumprir os limites regulamentados, de forma a evitar eventuais danos e garantir as exigências funcionais e de aspeto pretendidas.

A deformação instantânea, u_{int} , deverá ser determinada pela combinação característica das ações, conforme indica o EN 1990, recorrendo aos valores médios adequados dos módulos de elasticidade, de distorção e de deslizamento e, como indicado previamente, utilizando valores resultantes de uma análise linear elástica de primeira ordem.

Por outro lado, a deformação final, u_{fin} , é determinada utilizando a combinação de ações quase-permanentes, conforme definida na EN 1990. Para estruturas constituídas por elementos, componentes e ligações com as mesmas propriedades de fluência, e na hipótese de uma relação linear entre as ações e as respetivas deformações, pode-se determinar a deformação final através da seguinte equação:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} + u_{fin,Q_1} + \sum_{i>1} u_{fin,Q_i} \quad (1)$$

em que,

para uma ação permanente, G:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad (2)$$

para a ação variável de base da combinação, Q_1 :

$$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad (3)$$

para ação das variáveis secundárias, Q_i ($i > 1$):

$$u_{fin,Q_i} = u_{inst,Q_i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad (4)$$

sendo,

$u_{int,G}$, $u_{int,Q,1}$, $u_{int,Q,i}$ – deformações instantâneas, para as respectivas ações: G, Q_1 e Q_i ;

$\psi_{2,1}$ e $\psi_{2,i}$ – coeficientes para o valor quase permanente das ações variáveis;

$\psi_{0,i}$ - coeficiente para o valor da combinação de ações variáveis;

k_{def} - fator para a avaliação da deformação devido à fluência de acordo com a classe de serviço do material.

A

Figura 18 representa as várias componentes da deformação que uma viga simplesmente apoiada, quando sujeita a uma determinada combinação de ações.

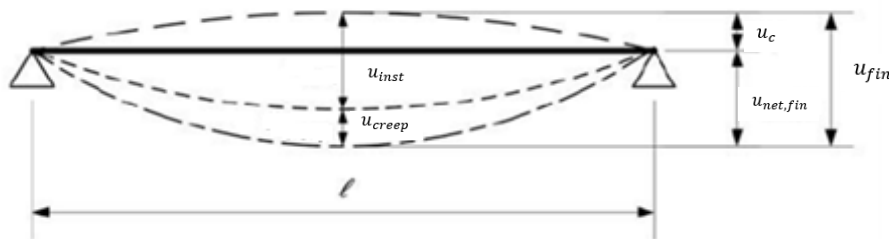


Figura 18 – Representação das componentes da deformação de uma viga (EC5, 2004).

A deformação, obtida através do desvio relativamente a uma linha reta imaginária entre dois apoios de viga, é dada pela deformada final que se traduz na seguinte expressão.

$$u_{net,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_c = u_{fin} - u_c \quad (5)$$

em que,

$u_{net,fin}$ - deformada final;

u_{inst} - deformada instantânea;

u_{creep} - deformada devido à fluência;

u_c - pré-deformada (se existir);

u_{fin} - deformada final total.

O EC5 prescreve apenas limites para os casos da viga simplesmente apoiada e da consola, que constituem as condições de apoio utilizadas, na sua maioria, nas estruturas de madeira, como ilustra a Tabela 10.

Tabela 10 – Valores limite para a deformação de vigas (EC5).

Condições de Apoio	u_{int}	$u_{net,fin}$	u_{fin}
Simplesmente apoiada	L/300 a L/500	L/250 a L/350	L/150 a L/300
Consola	L/150 a L/250	L/125 a L/175	L/75 a L/150

No entanto o DNA (Documento Nacional de Aplicação) tenta introduzir critérios mais objetivos, expressos na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores limite para a deformação total, segundo o DNA.

CONDIÇÕES	Simplemente apoiada	Consola
Coberturas geral	L/200	L/100
Coberturas utilizadas frequentemente por pessoas, para além do pessoal de manutenção	L/250	L/125
Pavimentos em geral	L/250	L/125
Pavimentos e coberturas que suportem rebocos ou outros acabamentos frágeis, ou divisórias não flexíveis	L/250	L/125
Quando $u_{net,fin}$ pode afetar o aspeto do edifício	L/250	L/125

6.3. ESTADOS LIMITE

A possibilidade de rotura é o principal quantificador de segurança da estrutura e, por esta razão, o EC5 prevê a avaliação das verificações segundo a definição de estados limites. Estes correspondem a situações estabelecidas como críticas, que influenciam o comportamento da estrutura e onde esta deixa de satisfazer as exigências iniciais do projeto.

A verificação de segurança para os diferentes estados-limite dependem de um conjunto de fatores, já referidos no capítulo 5.1 do presente documento. Assim, os estados-limite podem ser classificados em:

- Estados-limite de utilização ou de serviço.
- Estados-limite últimos.

6.3.1. ESTADOS- LIMITE DE UTILIZAÇÃO

O estado-limite de utilização, ou de serviço, de uma estrutura corresponde ao estado onde as condições de utilização deixam de ser cumpridas. Eles são observáveis quando a estrutura apresenta deformações ou deslocamentos que possam prejudicar o aspeto ou o uso normal da estrutura, bem como afetar os restantes elementos não estruturais, integrando ainda vibrações desagradáveis ao utilizador, limitando a eficiência da construção.

Nas estruturas compostas por elementos ou componentes com diferentes propriedades no tempo, a verificação de segurança é efetuada com os valores médios finais do módulo de elasticidade ($E_{mean,fin}$), do módulo de distorção ($G_{mean,fin}$) e do módulo de deslizamento ($K_{ser,fin}$), que deverão ser obtidos pelas seguintes expressões:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (6)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (7)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k_{def})} \quad (8)$$

em que,

E_{mean} - módulo de elasticidade médio;

G_{mean} - módulo de distorção médio;

K_{ser} - módulo de deslizamento (N/m), aplicado ao deslizamento de uma ligação (m) relativamente a um esforço aplicado (N).

6.3.2. ESTADOS- LIMITE ÚLTIMOS

Os estados-limite últimos correspondem a uma situação de rotura estrutural, podendo levar a estrutura ao colapso e comprometendo a segurança do utilizador. Estes manifestam-se quando se verifica a ruína por deformação excessiva, rotura ou perda de estabilidade da estrutura ou dos seus elementos, incluindo apoios e fundações.

A verificação da segurança em relação aos estados-limite últimos, tendo em conta que a distribuição dos esforços nos elementos é afetada pela distribuição da rigidez na estrutura, tem valores médios finais do módulo de elasticidade ($E_{mean,fin}$), do módulo de distorção ($G_{mean,fin}$) e do módulo de deslizamento ($K_{ser,fin}$), que são determinados pelas seguintes expressões:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (9)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (10)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (11)$$

em que:

$E_{mean,fin}$ - módulo de elasticidade médio final;

$G_{mean,fin}$ - módulo de distorção médio final;

$K_{ser,fin}$ - módulo de deslizamento final (N/m), aplicado ao deslizamento de uma ligação (m) relativamente a um esforço aplicado (N);

ψ_2 - coeficiente para o valor quase permanente da ação.

6.4. VERIFICAÇÃO PELO MÉTODO DOS COEFICIENTES PARCIAIS

6.4.1. VALOR DE CÁLCULO DE UMA PROPRIEDADE DE UM MATERIAL

O método de verificação de segurança mais adequado, imposto pelo EC5 é o método dos coeficientes parciais. Este método é determinístico e baseia-se na pressuposição de que todos os parâmetros são constantes. Assim, as ações e as resistências são corrigidas, através da aplicação de coeficientes parciais de segurança, de modo a ter em consideração o seu caráter probabilístico.

A segurança é assegurada desde que não seja excedido nenhum estado-limite, quando se efetua a comparação de valores de cálculo dos efeitos das ações e das resistências obtidos nos modelos de cálculo selecionados. Portanto, o valor de cálculo de uma propriedade de resistência de um material é dado pela fórmula:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (12)$$

em que:

X_d - valor de cálculo de uma propriedade de resistência;

X_k - valor característico de uma propriedade de resistência;

γ_M - coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material;

k_{mod} - fator de modificação da resistência, que tem em conta o efeito de duração das ações e do teor de água.

A Tabela 12 ilustra os valores recomendados dos coeficientes parciais de segurança γ_M .

Tabela 12 – Coeficientes parciais de segurança γ_M

Combinações fundamentais:	
Madeira Maciça	1,30
Madeira Lamelada colada	1,25
LVL, contraplacado, OSB	1,20
Combinações de acidente	1,00

Para o presente trabalho, apenas serão considerados os coeficientes parciais de segurança para a madeira maciça, madeira lamelada colada e a madeira micro-laminada colada (LVL).

O valor de cálculo de uma propriedade de rigidez de um elemento deve ser obtida utilizando as seguintes equações:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M} \quad (13)$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M} \quad (14)$$

em que:

E_d – valor de cálculo do módulo de elasticidade;

G_d - valor de cálculo do módulo de distorção.

6.4.2. VALOR DE CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS

O valor de cálculo da capacidade resistente de um material deve ser calculado como:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (15)$$

em que:

R_d - valor de cálculo da capacidade resistente;

R_k - valor característico da capacidade resistente;

k_{mod} - fator de modificação da resistência, que tem em conta o efeito de duração das ações e do teor de água;

γ_M - coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material.

6.4.3. VALOR DE K_{MOD} E K_{DEF}

Os valores das Tabela 13 e 14

Tabela 14 foram extraídos do EC5, sendo estes fatores muito importantes para o cálculo de estruturas de madeira. São indicadas ainda as normas fundamentais aplicáveis aos diferentes materiais estruturais e os seus derivados.

Tabela 13 – Valores de k_{mod} .

Material	Norma	Classe de Serviço	Classe de Duração das ações				
			Permanente	Longa Duração	Média Duração	Curta Duração	Instantânea
Madeira Maciça	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madeira Lamelada Colada	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Tabela 14 - Valores de k_{def} .

Material	Norma	Classe de Serviço		
		1	2	3
Madeira Maciça	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Madeira Lamelada Colada	EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00

7. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE ESTRUTURAS EM MADEIRA

Como já referido anteriormente, a utilização da madeira na construção é um campo pouco explorado, logo este capítulo ilustrará todo o procedimento de dimensionamento e verificação de segurança de vigas retas de madeira e dos seus derivados, com aplicação de cargas pontuais e cargas uniformemente distribuídas e com uma particularidade pois integra a alternância de cargas dos dois tipos de aplicação de cargas.

O desenvolvimento de uma folha de cálculo, em ficheiro *MS Excel*, para elementos de madeira consiste na verificação de segurança de vigas com um ou mais tramos em estruturas de madeira, implicando a verificação aos estados-limite últimos e de utilização, utilizando as combinações de ações adequadas a cada caso.

Deste modo, a folha de cálculo desenvolvida elabora a verificação de segurança relativamente à compressão perpendicular ao fio, à flexão simples, ao bambeamento, ao corte e à resistência ao fogo, como será descrito ao longo deste capítulo, abrangendo todas as condições e verificações efetuadas ao longo da folha de cálculo, que se encontra anexada.

7.1. COMPRESSÃO PERPENDICULAR AO FIO

O princípio base para esta verificação de segurança consiste em limite superior ao valor de cálculo da tensão atuante de compressão ao da resistência à compressão, sempre no plano perpendicular ao fio. Deste modo, o critério de verificação de segurança, segundo o EC5 assume a seguinte expressão:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (16)$$

em que:

$\sigma_{c,90,d}$ - valor de cálculo da tensão atuante de compressão perpendicular ao fio;

$f_{c,90,d}$ - valor de cálculo da resistência de compressão perpendicular ao fio;

$k_{c,90}$ - coeficiente de resistência de compressão na direção perpendicular ao fio.

O valor de cálculo da resistência de compressão perpendicular ao fio é dado pela seguinte expressão:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (17)$$

em que:

k_{mod} - fator de modificação da resistência, que tem em conta o efeito de duração das ações e do teor de água;

γ_M - coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material;

$f_{c,90,k}$ - valor característico da resistência de compressão perpendicular ao fio.

O valor de cálculo da tensão atuante de compressão perpendicular ao fio é obtido pela seguinte equação:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (18)$$

em que:

$F_{c,90,d}$ - valor de cálculo da força de compressão perpendicular ao fio;

A_{ef} - área de contacto efetiva.

Esta área de contacto efetiva obtém-se prolongando o comprimento carregado real até 30mm para cada lado, não excedendo (por lado) o menor da distância (a), comprimento acrescido (l) e o quociente entre o comprimento carregado real (l_1) sobre dois, $l_1/2$. Estes símbolos são representados na Figura 19.

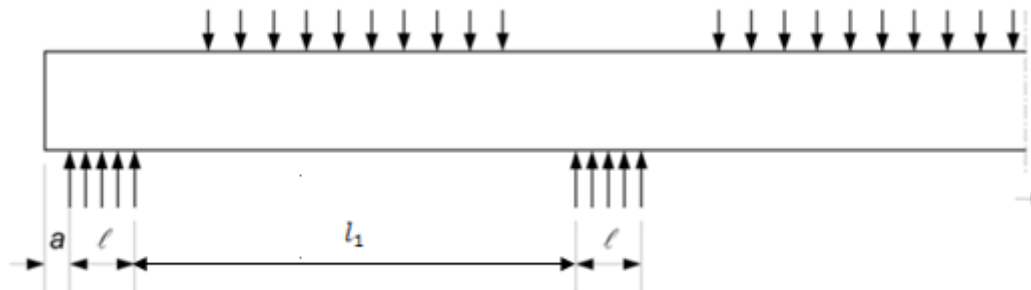


Figura 19 – Vigas continuamente apoiadas.

Em regra, o valor do $k_{c,90}$ deve ser igual à unidade podendo, em casos particulares que serão descritos de seguida, adotar valores superiores:

Vigas continuamente apoiadas e com $h \leq l_1/2$ (Figura 19):

$k_{c,90} = 1,25$ para madeira maciça de resinosas;

$k_{c,90} = 1,50$ para madeira lamelada colada.

Vigas sobre apoios discretos e com $h \leq l_1/2$ (Figura 20):

$k_{c,90} = 1,50$ para madeira maciça de resinosas;

$k_{c,90} = 1,75$ para madeira lamelada colada e $l \leq 400mm$.

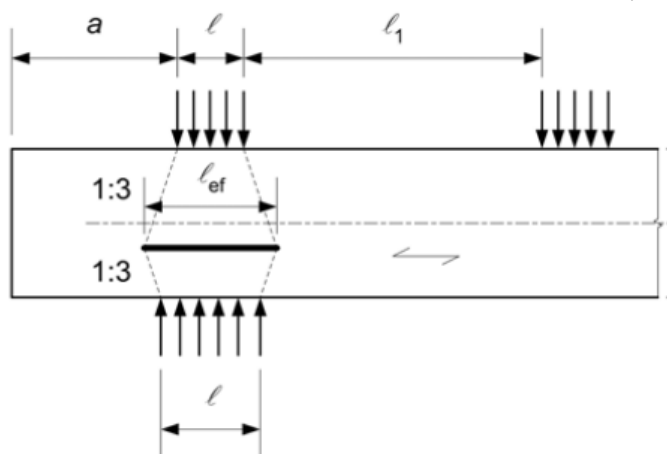


Figura 20 – Vigas sobre apoios discretos.

Se a condição de verificação de segurança se verificar, então a viga de madeira está corretamente dimensionada. Caso contrário, dever-se-ão alterar as propriedades geométricas da peça de madeira ou então o tipo de material.

7.2. FLEXÃO SIMPLES

O critério de segurança genérico consiste em limitar o valor máximo de cálculo da tensão atuante (em módulo) ao valor de cálculo da resistência à flexão, como ilustra a equação (19).

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (19)$$

em que:

$\sigma_{m,d}$ - valor de cálculo da tensão atuante de flexão;

$f_{m,d}$ - valor de cálculo da resistência à flexão.

O valor de cálculo da resistência à flexão é dado pela seguinte expressão:

$$f_{m,d} = k_{sys} * k_h * \frac{k_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (20)$$

em que:

$f_{m,k}$ - valor característico da resistência à flexão;

k_{sys} - fator de resistência do sistema;

k_h - fator que tem em conta o efeito do volume.

O fator de resistência do sistema, k_{sys} , é um coeficiente que tem em conta o efeito bidimensional proporcionado pelos elementos transversais (barrotes ou sarrafos) e só faz sentido utilizar este fator no caso de carregamentos concentrados ou lineares aplicados a uma única viga.

O EC5 propõe as seguintes equações para determinar o fator k_h , em função da maior dimensão, a altura (h), para seções transversais:

- Madeira Maciça:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,30 \right\}, \text{ com } h \leq 150mm \quad (21)$$

- Madeira Lamelada Colada:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,10 \right\}, \text{ com } h \leq 600mm \quad (22)$$

- LVL:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^s, \text{ com } h \leq 300\text{mm} \right. \\ \left. 1,20 \right\} \quad (23)$$

em que s é um expoente do efeito do tamanho, com a expressão:

$$s = 2v - 0,05 \quad (24)$$

na qual v é o coeficiente de variação dos resultados obtidos experimentalmente tomando um valor inferior a 0,10.

O valor de cálculo da tensão atuante de flexão é dado pela equação (25).

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{sd}}{bh^2} \quad (25)$$

em que:

M_{sd} - valor de cálculo do momento fletor atuante;

b - largura da secção transversal;

h - altura da secção transversal.

Se a condição de verificação de segurança se verificar, então a viga de madeira está corretamente dimensionada e, caso não se verifique, devem-se alterar as propriedades geométricas da peça de madeira ou então o tipo de material.

7.3. BAMBEAMENTO

O bambeamento, também designado como instabilidade lateral-torcional, é um fenómeno de instabilidade recorrente em vigas esbeltas com flexão de eixo forte, isto é, com carregamento normal ao eixo da máxima inércia da secção transversal.

A metodologia de verificação de segurança em relação ao risco de bambeamento passa por:

1. Definir a secção transversal e o material;
2. Calcular a tensão crítica elástica;
3. Determinar o valor de cálculo da esbelteza relativa;
4. Calcular k_{crit} ;
5. Proceder à verificação de segurança.

Depois de definidas as propriedades geométricas e o tipo de material que se pretende dimensionar, a tensão crítica elástica assume a seguinte expressão geral:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi}{l_{ef}w} \sqrt{EI_z I_{tor} G} \quad (26)$$

em que:

$\sigma_{m,crit}$ - valor de cálculo da tensão crítica elástica;

E - módulo de elasticidade do material;

I_z - momento de inércia em relação ao eixo fraco z ;

I_{tor} - momento de inércia de torção da secção;

G - módulo de distorção do material;

l_{ef} - comprimento efetivo de bambeamento;

w - momento estático da secção.

No entanto, para gamas de secções retangulares de madeira e considerando o $E_{0,05}/G_{0,05}=16$ e como é estabelecido na normalização, a expressão anterior pode ser reduzida a:

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \frac{E_{0,05} * b^2}{h * l_{ef}} \quad (27)$$

em que:

$E_{0,05}$ - módulo de elasticidade correspondente ao quantilhos de 5%;

b - largura da secção transversal;

h - altura da secção transversal.

O comprimento efetivo de bambeamento, l_{ef} , depende do tipo de carregamento aplicado e das condições de apoio e, segundo a nota que se encontra na Tabela 15, pode ser obtido pela equação (28), se a carga está aplicada na face superior e pela equação (29), quando a se trata de uma carga suspensa (carga aplicada na face inferior).

$$l_{ef} = m * l + 2h \quad (28)$$

$$l_{ef} = m * l - 0,5h \quad (29)$$

O fator de momento uniforme equivalente, m , depende do diagrama de momentos e representa a relação que deve existir entre o vão de uma viga com uma determinada distribuição de momentos fletores e outra com a distribuição uniforme, de modo a que o

momento crítico ou a tensão crítica seja igual em ambas as vigas. Assim, o EC5 1-1 propõe a seguinte tabela.

Tabela 15 – Valores do fator de momento uniforme equivalente, m .

Tipo de Viga	Carregamento	$m=l_{ef}/l$
Simplesmente apoiada	Momento constante	1,0
	Carga unif. Distribuída	0,9
	Força a meio vão	0,8
Consola	Carga unif. Distribuída	0,5
	Força na extremidade	0,8

Nota: o rácio l_{ef}/l é válido para uma viga com a rotação de torção restringida nos apoios e com carga (descendente, por hipótese) aplicada na linha definida pelos centros geométricos das seções. Se a carga aplicada na face superior, l_{ef} deverá ser aumentado de $2h$, devendo ser reduzido de $0,5h$ para uma carga suspensa da face inferior.

Obtida a tensão crítica elástica pela equação (27), procede-se ao cálculo da esbelteza relativa, dada por:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (30)$$

em que:

$\lambda_{rel,m}$ – valor da esbelteza relativa;

$f_{m,k}$ - valor característico da resistência à flexão.

De seguida, efetua-se o cálculo do k_{crit} , que depende da esbelteza relativa, através da seguinte expressão:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,40 \\ \frac{1}{(\lambda_{rel,m})^2} & \lambda_{rel,m} \geq 1,40 \end{cases} \quad (31)$$

O critério de verificação de segurança ao bambeamento é dado pela expressão (32).

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (32)$$

em que:

$\sigma_{m,d}$ - valor de cálculo da tensão atuante de flexão;

$f_{m,d}$ - valor de cálculo da resistência à flexão;

k_{crit} - fator que se obtém por uma curva de bambeamento, estabelecida analiticamente no EC5 1-1.

O valor de cálculo da resistência à flexão e o valor de cálculo da tensão atuante de flexão é dado pelas expressões (20) e (25), respetivamente.

Caso se verifique esta condição de verificação de segurança, então os elementos de madeira estão corretamente dimensionados. Caso contrário, dever-se-ão alterar as propriedades geométricas da peça de madeira ou então o tipo de material.

7.4. CORTE

Devido à anisotropia da madeira, a resistência ao corte varia consoante o plano solicitado. Deste modo, o critério de verificação ao corte de elementos de madeira é dado pela seguinte expressão:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (33)$$

em que:

τ_d - valor de cálculo da tensão atuante de corte;

$f_{v,d}$ - valor de cálculo da resistência ao corte.

O valor de cálculo da resistência ao corte assume a seguinte expressão:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (34)$$

em que:

$f_{v,k}$ - valor característico da resistência ao corte;

k_{mod} - fator de modificação da resistência, que tem em conta o efeito de duração das ações e do teor de água;

γ_M - coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material.

Para o valor de cálculo da tensão atuante de corte, o EC5 preconiza:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{sd}}{b_{ef}h} \quad (35)$$

em que:

V_{sd} - valor de cálculo do esforço transversal atuante;

b_{ef} - valor reduzido da largura;

h - altura da secção transversal.

A redução da largura é devido ao efeito das fendas e, nestes termos, o valor desta largura é dada por:

$$b_{ef} = k_{cr} * b \quad (36)$$

com,

$k_{cr} = 0,67$, para madeira maciça

$k_{cr} = 0,67$, para madeira lamelada colada

$k_{cr} = 1,00$, para outros derivados de madeira

Se está condição de verificação de segurança imposta na equação (33) for verificada, então os elementos de madeira estão corretamente dimensionados. Caso não seja verificada a condição, dever-se-á alterar as propriedades geométricas da peça de madeira ou então até mesmo modificar o tipo de material.

7.5. RESISTÊNCIA AO FOGO

7.5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na conceção e dimensionamento de estruturas de madeira, é fundamental os projetistas terem em consideração a resistência ao fogo, uma vez que a madeira é um material combustível. Desta forma, o EC5 1-2 surge para solucionar esta questão relacionada com o fogo e, impõe as condições de verificação da resistência ao fogo de peças de madeira.

A resistência ao fogo é a capacidade, medida em tempo, para resistir à atuação de um fogo plenamente desenvolvido, ou seja, quando todos os elementos se encontram envolvidos no processo. A reação ao fogo é o alimento que um material pode fornecer ao desenvolvimento inicial de um fogo, ou por outras palavras, traduz-se num índice de capacidade do material

para promover o desenvolvimento de um incêndio, sendo o principal parâmetro de avaliação do comportamento (Anastácio, 2010).

No entanto, a madeira apresenta uma temperatura de ignição (temperatura a partir da qual sem a presença de uma fonte de calor, os vapores libertados pela combustão se autoinflamam) relativamente elevada, superior a 400°C sem chama-piloto, 300°C com um foco de incêndio atuando para um período de tempo significativo e 300°C com pré-aquecimento. É de notar que a madeira lamelada colada tem uma menor velocidade de combustão quando comparada com outras madeiras (J. Negrão, 2005).

A propagação do fogo na madeira surge através de uma sucessão de ignições, cada uma desencadeada por outra, na superfície da madeira. Deste modo, a velocidade de propagação da chama é baixa e depende das características do material, das propriedades geométricas da peça e das condições da envolvente. Logo, a madeira submetida a um severo incêndio apresenta uma redução de secção, mas não ao ponto de perder a capacidade de suporte para que foi projetada.

Quando as peças de madeira estão sujeitas à ação de um fogo plenamente desenvolvido, a combustão da superfície do material produz uma camada calcinada isolante (camada carbonizada), a qual torna difícil a transmissão de calor e a contínua combustão da peça. Devido a esta dificuldade, a madeira apresenta uma boa resistência ao fogo, quando comparada a outros elementos construtivos. A Figura 21 ilustra o aspeto de uma peça de madeira aquando sujeita à ação do fogo.

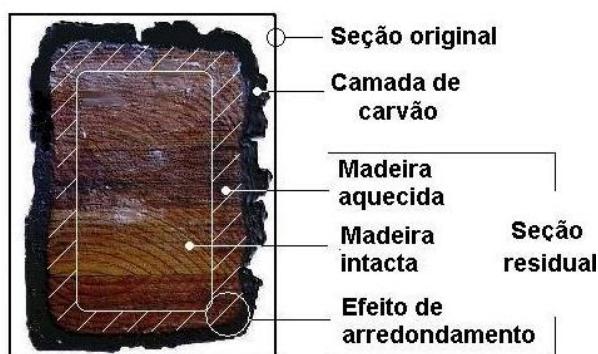


Figura 21 - Peça de madeira após ação do fogo (Madeira Estrutural, 2009).

O risco de ignição depende de diversos fatores sobretudo: a forma e tamanho da peça, na medida em que quanto maior for a superfície específica maior será a combustibilidade; a

densidade, em que quanto maior for este fator, maior será a velocidade de combustão e o tempo de ignição; e o teor em água, que tem um efeito benéfico pois este fator traduz a relação que existe entre volume e peso de água que a peça de madeira contém.

7.5.2. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA AO FOGO

A verificação da segurança ao fogo, preconizada pelo EC5, é dada pela seguinte expressão:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi} \quad (37)$$

em que:

$E_{d,fi}$ - valor de cálculo do efeito das ações (tensões atuantes em situação de incêndio);

$R_{d,t,fi}$ - valor de cálculo da resistência das peças ou das seções, em situação de incêndio.

A quantificação do efeito das ações, tendo em conta a sua linearidade, pode ser efetuada através da seguinte equação:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d \quad (38)$$

em que:

E_d - valor de cálculo do efeito das ações à temperatura ambiental;

η_{fi} - fator de redução para a carga de projeto na situação de incêndio.

Este coeficiente de redução é dado pela equação:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (39)$$

em que:

G_k - valor característico da ação permanente;

$Q_{k,1}$ - valor característico da ação variável base;

γ_G - coeficiente parcial de segurança da ação permanente;

$\gamma_{Q,1}$ - coeficiente parcial da ação variável base;

$\psi_{1,1}$ - coeficiente de redução para valor frequente da ação variável base.

Em termos de resistência de acordo com EC5, a resistência de cálculo é determinada pela seguinte expressão:

$$R_{d,t,fi} = \eta \frac{R_{20}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \frac{k_{fi} R_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (40)$$

sendo que:

R_{20} - valor de cálculo da resistência à temperatura ambiental;

R_k - valor característico da capacidade resistente;

η - fator de conversão;

k_{fi} - fator definido na Tabela 16;

$\gamma_{M,fi}$ - coeficiente parcial de segurança para a situação de incêndio.

O fator k_{fi} depende do tipo de madeira a utilizar e das ligações e é obtido pela Tabela 2.1 do EC5, como representa a tabela seguinte.

Tabela 16 – Valores de k_{fi} , segundo EC5 1-2.

Tipo de material	k_{fi}
Madeira maciça	1,25
Madeira lamelada colada	1,15
LVL	1,10

Devido ao facto de a folha de cálculo somente se aplicar a vigas simplesmente apoiadas e contínuas, apenas se efetua a verificação da resistência à flexão em situação de incêndio. Deste modo, o valor da tensão resistente em situação de incêndio é obtida pela expressão seguinte:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (41)$$

em que:

$f_{d,fi}$ - valor de cálculo da tensão resistente em situação de incêndio;

f_{20} - valor de cálculo da tensão resistente à temperatura ambiente;

$k_{mod,fi}$ - fator de correção para a situação de incêndio, tendo em conta os efeitos da temperatura e do teor de água, determinado pela equação (46).

No regulamento aplicado à verificação de segurança no que diz respeito ao fogo, ou seja, o EC5 1-2, são propostos diversos métodos, sobretudo dois métodos simplificados e um método avançado. No entanto, o método escolhido para verificação à resistência ao fogo foi o método das propriedades reduzidas – taxa de carbonização nominal.

Este método procede à verificação de segurança ao fogo através da redução de secção da madeira e comparam a capacidade resistente desta secção reduzida com as ações de cálculo para a situação de incêndio. Deste modo, este método simplificado baseia-se no conceito de taxa de carbonização, que permite calcular a profundidade de madeira consumida pelo fogo e, consequentemente, determina também a secção residual efetiva que mantém a sua capacidade resistente quase intacta. As taxas de carbonização, são constantes no tempo e variam entre os 0,5 e os 1,0 mm/minuto, dependendo do tipo de madeira ou seu derivado (Cachim, 2008).

O cálculo das secções reduzidas depende das faces que estão expostas, isto é, se todas as faces estão expostas à ação do fogo, então deve-se utilizar as equações (42) e (43).

$$b_{ef} = b - 2 \times \beta_n t \quad (42)$$

$$h_{ef} = h - 2 \times \beta_n t \quad (43)$$

Caso a face superior não se encontre sujeita à ação do fogo, então utiliza-se as seguintes equações:

$$b_{ef} = b - 2 \times \beta_n t \quad (44)$$

$$h_{ef} = h - \beta_n t \quad (45)$$

sendo que:

b_{ef} – valor reduzido da largura;

h_{ef} – valor reduzido da altura;

β_n – taxa de carbonização nominal;

t – tempo de exposição ao fogo.

O $k_{mod,fi}$ é determinado pela seguinte expressão.

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{200} \frac{P_r}{A_r} \quad (46)$$

em que:

P_r – perímetro da secção residual;

A_r – área da secção residual.

Para determinar as propriedades geométricas perímetro e área da secção residual, o EC5 1-2 propõe as seguintes expressões:

$$P_r = 2 (b_{ef} + h_{ef}) \quad (47)$$

$$A_r = b_{ef} \times h_{ef} \quad (48)$$

A tensão atuante a secção efetiva, $\sigma_{m,d,fi}$, em função do tempo de exposição ao fogo, t , é dada pela seguinte equação:

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{6 M_{ED,fi}}{b_{ef} h_{ef}^2} \quad (49)$$

em que,

$M_{ED,fi}$ – valor de cálculo do momento fletor atuante para a situação de incêndio.

Uma vez que somente é verificada a resistência da flexão relativamente ao fogo, então a equação (50) é a condição necessária para verificar a segurança da resistência ao fogo e é dada por:

$$\sigma_{m,d,fi} \leq f_{d,fi} \quad (50)$$

Se a condição de verificação de segurança relativo ao fogo for verificada, então a viga de madeira está corretamente dimensionada e tem capacidade para resistir durante o tempo t definido, caso não se verifique, devem-se alterar as propriedades geométricas da peça de madeira ou então o tipo de material.

8. CONCLUSÕES

Após a elaboração do presente trabalho, conclui-se que este teve como objetivo a apresentação do estágio curricular realizado na empresa R6 LIVING, com duração de 6 meses e com uma carga horária média de 24 horas semanais.

A parte I do presente trabalho apresenta todo o trabalho desenvolvido durante o estágio, integrando os conhecimentos teóricos adquiridos no âmbito do MIEC, da Universidade de Aveiro, e todos os trabalhos desenvolvidos em apoio aos colaboradores da empresa. Na realização destes trabalhos foi necessário a aquisição de mais conhecimento e aptidões em diversas ferramentas informáticas, de forma a facilitar a execução dos mesmos.

A realização deste estágio demonstrou-se vantajoso no desenvolvimento de conhecimentos práticos e metodologias de trabalho aplicados ao mundo real da construção, bem como na aquisição de experiência profissional que é um fator relevante no momento de análise de um *curriculum vitae*. Ainda assim, a incorporação numa equipa de trabalho experiente despertou capacidades de dinamismo e de trabalho, na medida em que este contacto instruiu a aquisição de aptidões de adaptação para as diferentes questões técnicas.

A parte II constitui a parte do desenvolvimento de uma folha de cálculo, em *MS Excel*, referente à verificação de segurança de estruturas de madeira surge com a necessidade de sistematizar e facilitar o cálculo de projetos em estruturas de madeira e, futuramente, será uma ferramenta auxiliar para os projetistas.

Esta folha de cálculo desenvolvida apenas efetua a verificação de vigas contínuas e simplesmente apoiadas, com a alternância de aplicação de cargas pontuais e uniformemente distribuídas, até quatro tramos. No entanto, esta folha de cálculo é de fácil utilização e permite verificar a segurança relativamente à resistência ao fogo de peças de madeira.

Assim, a escolha de um estágio em detrimento de uma dissertação, ilustrou-se ser uma experiência profissional fundamental pois permitiu ter noção da realidade e panorama do mercado de trabalho atual no âmbito da Engenharia Civil.

REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM. (2017). Aglomerado de cortiça expandida, Produtos - Amorim Isolamentos. Retrieved May 16, 2017, from <http://www.amorimisolamentos.com/produtos/Aglomerado-de-cortica-expandida/60/>
- Anastácio, R. (2010). *Especificação de Proteção Fogo para Estruturas de Madeira*. FEUP.
- Brandalise, G. M. (2012). Madeira Laminada Colada. Retrieved from http://www.academia.edu/4231219/Madeira_Laminada_Colada
- Cachim, P. B. (2007). *Construções em madeira- a madeira como material de construção*. Porto: Publindústria, Edições Técnicas.
- Cachim, P. B. (2008). Comparação dos métodos de cálculo da resistência ao fogo do Eurocódigo 5 (pp. 15–23).
- Carpintaria Venezolana Portuguesa, L. (2017). Decks - Carpintaria Venezolana Portuguesa, Lda. Retrieved May 15, 2017, from <http://www.carpintariavenezolana.com/carpv/pt/produtos/decks.html>
- Demétrio, Douglas; Luiz, Isadora Rosa; Sumihiro, João Vitor; Valim, J. (2015). Madeira como material estrutural. Retrieved June 13, 2017, from <https://pt.slideshare.net/valimjulia/madeira-como-material-estrutural>
- EC5. (2004). *Eurocode 5 : Design of timber structures - Part 1-1 : General - Common rules and rules for buildings. Design*. [https://doi.org/ICS 91.010.30; 91.080.20](https://doi.org/ICS%2091.010.30;91.080.20)
- enaqplus. (2017). Produto - ENARQPLUS - QP101 Deck Compósito Cast. 2200x135x55 mm. Retrieved May 15, 2017, from [http://www.enarqplus.com/produto-12-QP101 Deck Compósito Cast. 2200x135x55 mm](http://www.enarqplus.com/produto-12-QP101%20Deck%20Comp%C3%B3sito%20Cast.%202200x135x55%20mm)
- Faria, A., & Negrão, J. (2009). *Projeto de Estruturas de Madeira*. Publindústria, Edições Técnicas.

Finnforest. (2016). Laminated veneer lumber (lvl) – Kerto® LVL. Retrieved May 31, 2017, from <http://www.metsawood.com/global/Products/kerto/Pages/Kerto.aspx>

Guia Casa Eficiente. (2017). Painéis sandwich para paredes exteriores e tetos de edifícios. Retrieved May 15, 2017, from <http://www.guiacasaeficiente.com/Paredes/PaineisSandwich.html>

HPL. (2017). Plastic High Pressure Laminates Manufacturers and Wholesalers. Retrieved May 15, 2017, from <http://mfg.regionaldirectory.us/plastic-high-pressure-laminates/>

Jular. (2017a). Madeira Micro-laminada KERTO. Retrieved May 31, 2017, from <http://www.jular.pt/produtos/estruturas-em-madeira/kerto>

Jular. (2017b). Pavimentos Interiores. Retrieved June 13, 2017, from <http://www.jular.pt/produtos/pavimentos-interiores>

Madeira Estrutural. (2009). A Madeira: um Material Resistente ao Fogo | MADEIRAESTRUTURAL. Retrieved June 19, 2017, from <https://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/07/13/a-madeira-um-material-resistente-ao-fogo/>

Mendes, F. M. V. P. (2009). *Durabilidade das Fachadas Ventiladas*. Porto. Retrieved from http://www.ordemengenhheiros.pt/fotos/editor2/cdn/especializacoes/09_000141996.pdf

Negrão, H. (2004). Dimensionamento de elementos de madeira segundo o Eurocódigo 5.

Negrão, J. (2005). *Curso ITeCons Madeira*.

Portal da Madeira. (2009). LVL - Laminated Venner Lumber. Retrieved May 31, 2017, from <http://portaldamadeira.blogspot.pt/2009/11/lvl-laminated-venner-lumber.html>

R6 Living. (2017). Retrieved May 6, 2017, from <http://www.r6living.pt/>

Ramos, A. B. da S. (2010). *Avaliação Do Comportamento Mecânico De Madeira Antiga*. FEUP.

SOFALCA. (2017). Sofalca. Retrieved May 17, 2017, from <http://sofalca.pt/producao.html>

Somapil. (2017a). OSB. Retrieved June 20, 2017, from <http://www.somapil.com/pt/placas/osb>

Somapil. (2017b). Vigas em madeira maciça. Retrieved May 6, 2017, from <http://www.somapil.com/pt/madeira-para-estruturas/vigas-em-madeira-macica>

SOTECNISOL Materiais. (2017). Materiais de Construção. Retrieved May 15, 2017, from <http://www.sotecnisol.pt/materiais/>

Stong. (2017). Decks de Madeira Maciça | Composição - STRONG Wood Floors. Retrieved May 15, 2017, from <http://www.strongexport.com/pt/produtos/pavimentos/decks-de-madeira-macica>

Uso de Madeira Maciça- Vantagens e desvantagens. (2008). Retrieved May 26, 2017, from <http://portaldamadeira.blogspot.pt/2008/12/vantagens-e-desvantagens.html>

NORMATIVAS

NP EN 335-1, 1994 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados – Definição das classes de risco de ataque biológico – Parte 1: Generalidades.

NP EN 385, 2001 – Madeira para estruturas com ligações de entalhe múltiplos - Requisitos de desempenho e requisitos mínimos de produção.

NP EN 386, 2001 – Madeira Lamelada Colada- Requisitos de desempenho e requisito mínimos de produção.

EN 387, 2001 – Glued Laminated timber. Large finger joints- Performance requirements and minimum product requirements.

NP EN 1194, 2003 – Estruturas de Madeira- Madeira Lamelada Colada - Classe de resistência e determinação dos valores característicos.

NP EN 1912, 2007 – Madeiras para estruturas- Classes de resistência- Atribuição de classes de qualidade e espécies.

NP EN 1990, 2009 – Eurocódigo – Bases para o projeto de estruturas.

NP EN 1991-1-1, 2009 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-1: Ações gerais – pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.

NP EN 1991-1-3, 2010 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-4: Ações gerais – Ações da neve.

NP EN 1991-1-4, 2010 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-4: Ações gerais – Ações do vento.

EN 1995-1-1, 2004. Eurocode 5 - Design of Timber Structures. Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings.

EN 1995-1-2, 2004 – Eurocode 5 - Design of Timber Structures. Part 1-2: General. Structural fire design.

NP 4305:1995 – Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas – Classificação visual

EN 14080:2013 – Timber structures- Glued Laminated timber. Requirements.

EN 14081-1, 2013 – Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1- General requirements.

EN 14081-2, 2010 – Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 2- Machine grading: additional requirements for initial type testing.

EN 14081-3, 2012 – Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 3- Machine grading: additional requirements for factory production control.

EN 14081-4, 2009 – Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 4- Machine grading – grading machine settings for machine controlled systems.

EN 14279, 2004 – Laminated Veneer Lumber (LVL) - Definitions, classification and specifications.

EN 14374, 2004 – Timber structures- Structural Laminated Veneer Lumber – Requirements.

Documento Nacional de Aplicação do Eurocódigo 8 (DNA).

Documento de Homologação finlandês do produto, nº 184/03 de 20 de outubro de 2005, emitido pelo *VTT Technical Research Center of Finland*.

ANEXO - FOLHA DE CÁLCULO DESENVOLVIDA

CASO TIPO

Edifício de eventos sociais em que a cobertura da nave principal é de estrutura de madeira lamelada colada, com resistência ao fogo de 60 minutos, compostas por:

1. Vigas principais:
 - de classe de resistência GL28h;
 - secção retangular 160x800mm;
 - simplesmente apoiadas com 15 m de vão, com dois travamentos no banzo inferior, afastadas centro a centro de 4 m ligadas entre si por madres;
 - Comprimento dos apoios 200 mm;
2. Vigas secundárias (madres):
 - de classe de resistência GL24h;
 - secção retangular 120x200mm;
 - apoios contínuos com 12 m de comprimento total, afastadas centro a centro de 1,25 m para apoio do painel sandwich de revestimento;
 - Comprimento dos apoios 160mm.

As cargas consideradas na aplicação deste caso tipo foram as seguintes:

- Peso cobertura 1,0 kN/m²
- Sobrecarga 0,3 kN/m²
- Vento 1,2 kN/m²
- Neve 0,8 kN/m²

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE MADEIRA SIMPLEMENTE APOIADAS E CONTINUAS

Nome da Obra: _____ Ref.ª: _____
 Técnico: _____ Data: 20/07/2017

INPUT DATA

Propriedades mecânicas

Classe de serviço	1		Coberturas		MADRES
Classe de resistência	GL24h		Ksys	1,00	
Material	Glulam		Categoria H		
$f_{m,k}$	24	MPa	γ_M	1,25	
$f_{t,90,k}$	0,5	MPa	Kdef	0,60	
$f_{c,90,k}$	2,5	MPa	Kmod	0,90	
$f_{v,k}$	3,5	MPa	$\Psi_{2,0}$	0,00	
$E_{0,mean}$	11,5	GPa			
$E_{0,05}$	9,6	GPa			
G_{mean}	0,65	GPa			
ρ_{mean}	420	kg/m³			

Propriedades geométricas

Altura H	200	mm	Área	0,02	m²
Largura B	120	mm	Volume	0,288	m³
Comprimento Total L	12	m	Iy	8000,0	cm⁴
Afastamento vigas c/c	1,25	m	Iz	2880,0	cm⁴
Comprimento do apoio l	160	mm			

Restrições para o Bambeamento

Parte Superior	0,1	m
Parte Inferior	4,0	m

Exposição ao fogo

Tempo de exposição	60	min
Faces superior e inferior expostas?	não	
kfi	1,15	
$\gamma_{M,f}$	1,00	

Cargas

			Classe de duração	kmod	Distância entre vigas (c/c)	1,25 m
Peso Próprio	0,081	kN/m²	Permanent	0,6		
Carga permanente	1,00	kN/m²	Permanent	0,6		
Sobrecarga	0,30	kN/m²	Medium-term	0,8		
Neve	0,80	kN/m²	Short-term	0,9		
Vento	-1,20	kN/m²	Medium-term	0,8		
Cargas Pontuais	0,00	kN	Permanent	0,6		

RESULTADOS

Estados-Limite Últimos

	Combinação 1		Combinação 2		Combinação 3	
	Rácio	CHECK	Rácio	CHECK	Rácio	CHECK
Compressão perpendicular ao fio	0,023	OK	0,032	OK	0,001	OK
Flexão simples	0,236	OK	0,329	OK	0,089	OK
Bambeamento	0,215	OK	0,299	OK	0,081	OK
Corte	0,230	OK	0,320	OK	0,013	OK

Estado-Limite de Serviço

	u	ulim	Rácio	CHECK
	(mm)	(mm)		
uint	2,3	40,0	0,06	OK
ufinal	3,3	60,0	0,05	OK

Verificação da Resistência ao Fogo

Combinação 4 (Acidental)		
Rácio	CHECK	
91%	OK	para 60 minutos

ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

Esforços

nº tramos	3		
Tipo de Carga	Carga uniformemente distribuida	nº apoios	4
Tramos de Aplicação	TRAMO 1	Comprimento L	4,00 m

Combination 1: $\gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q$

γ_G	1,35	
γ_Q	1,5	
qED	2,386	kN/m
PED	0,00	kN
MED max	3,59	kN.m
VED max	6,20	kN

Combination 2: $\gamma_G \times G + \gamma_S \times S$

γ_G	1,35	
γ_S	1,5	
qED	3,324	kN/m
PED	0,00	kN
MED max	5,00	kN.m
VED max	8,64	kN

Combination 3: $\gamma_G \times G + \gamma_W \times W$

γ_G	1,0	
γ_W	1,5	
qED	-0,899	kN/m
PED	0,00	kN
MED max	1,35	kN.m
VED max	0,36	kN

Verificações de Segurança

COMBINAÇÃO 1

Compressão perpendicular ao fio:

Kc,90,d	1,75	
fc,90,d	1,80	MPa
Fc,90,d	6203,8	N
Aef	150000	mm²
$\sigma_{c,90,d}$	0,04	MPa
CHECK	OK	
Rácio	2%	

Flexão simples:

ksys	1,00	
kh	1,10	
fmd	19,01	MPa
$\sigma_{m,d}$	4,49	MPa
CHECK	OK	
Rácio	24%	

Bambeamento:

ksys	1,10	
kh	1,10	
fmd	20,91	MPa
$\sigma_{m,crit}$	1104,79	MPa
m	0,88	
lef	488	mm
$\lambda_{rel,m}$	0,15	
Kcrit	1,00	
$\sigma_{m,d}$	4,49	MPa
CHECK	OK	
Rácio	21%	

Corte:

fvd	2,52	MPa
kcr	0,67	
bef	80,4	mm
τ_d	0,579	MPa
CHECK	OK	
Rácio	23%	

COMBINAÇÃO 2

Compressão perpendicular ao fio:

Kc,90,d	1,75	
fc,90,d	1,80	MPa
Fc,90,d	8641,3	N
Aef	150000	mm²
$\sigma_{c,90,d}$	0,06	MPa
CHECK	OK	
Rácio	3%	

Flexão simples:

ksys	1,00	
kh	1,10	
fmd	19,01	MPa
$\sigma_{m,d}$	6,25	MPa
CHECK	OK	
Rácio	33%	

Bambeamento:

ksys	1,10	
kh	1,10	
fmd	20,91	MPa
$\sigma_{m,crit}$	1104,79	MPa
m	0,88	
lef	488	mm
$\lambda_{rel,m}$	0,15	
Kcrit	1,00	
$\sigma_{m,d}$	6,25	MPa
CHECK	OK	
Rácio	30%	

Corte:

fvd	2,52	MPa
kcr	0,67	
bef	80,4	mm
τ_d	0,806	MPa
CHECK	OK	
Rácio	32%	

COMBINAÇÃO 3

Compressão perpendicular ao fio:

Kc,90,d	1,75	
fc,90,d	1,80	MPa
Fc,90,d	359,7	N
Aef	150000	mm²
$\sigma_{c,90,d}$	0,00	MPa
CHECK	OK	
Rácio	0%	

Flexão simples:

ksys	1,00	
kh	1,10	
fmd	19,01	MPa
$\sigma_{m,d}$	1,69	MPa
CHECK	OK	
Rácio	9%	

Bambeamento:

ksys	1,10	
kh	1,10	
fmd	20,91	MPa
$\sigma_{m,crit}$	137,53	MPa
m	0,88	
lef	3920	mm
$\lambda_{rel,m}$	0,42	
Kcrit	1,00	
$\sigma_{m,d}$	1,69	MPa
CHECK	OK	
Rácio	8%	

Corte:

fvd	2,52	MPa
kcr	0,67	
bef	80,4	mm
τ_d	0,034	MPa
CHECK	OK	
Rácio	1%	

ESTADOS LIMITES SERVIÇO

Cargas		u,inst,i	u,final,i
kN/m		mm	mm
Permanente+ PP	1,351	2,6	4,1
Sobrecarga	0,375	0,7	0,7
Neve	1,000	2,0	3,2
Vento	-1,500	-3,0	-4,7
Cargas Pontuais	0,000	0,0	0,0
Σ		2,322	3,281

	u (mm)	u _{lim} (mm)	Rácio	CHECK
uint	2,3	40,0	0,06	OK
ufinal	3,3	60,0	0,05	OK

VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA AO FOGO - MÉTODO DAS PROPRIEDADES REDUZIDAS - Taxa de carbonização nominalCombination 4: (Acidental) **G + ψ_2 x Q**

ψ_2	0,00	
qED	1,351	kN/m
PED	0,00	kN
MED max	2,03	kN.m

Resistência ao fogo:

k _{fi}	1,15	
$\gamma_{M,fi}$	1,00	
β_0	0,65	mm/min
β_n	0,70	mm/min
t	60	min
f _{m,k}	24	MPa
k _{mod,fi}	1,00	

M _{z,d,fi}	2,03	kN/m
f _{m,20}	27,6	MPa
f _{m,d,fi}	27,59	MPa
$\sigma_{m,crit}$	25,16	MPa
CHECK	OK	
Rácio	91%	

Dimensões efetivas

B _{ef}	36	mm
H _{ef}	116	mm
Pr	304	mm
Ar	4176	mm ²

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE MADEIRA SIMPLEMENTE APOIADAS E CONTINUAS

Nome da Obra: _____ Ref.ª: _____
 Técnico: _____ Data: 20/07/2017

INPUT DATA

Propriedades mecânicas

Classe de serviço	1		Coberturas	
Classe de resistência	GL28h		Ksys	1,00
Material	Glulam		Categoria H	
$f_{m,k}$	28	MPa	γ_M	1,25
$f_{t,90,k}$	0,5	MPa	Kdef	0,60
$f_{c,90,k}$	2,5	MPa	Kmod	0,90
$f_{v,k}$	3,5	MPa	$\psi_{2,0}$	0,00
$E_{0,mean}$	12,6	GPa		
$E_{0,05}$	10,5	GPa		
G_{mean}	0,65	GPa		
ρ_{mean}	460	kg/m³		

VIGAS PRINCIPAIS

Propriedades geométricas

Altura H	800	mm	Área	0,13	m²
Largura B	160	mm	Volume	1,920	m³
Comprimento Total L	15	m	ly	682666,7	cm⁴
Afastamento vigas c/c	1,25	m	lz	27306,7	cm⁴
Comprimento do apoio l	140	mm			

Restrições para o Bambeamento

Parte Superior	1,3	m
Parte Inferior	5,0	m

Exposição ao fogo

Tempo de exposição	60	min
Faces superior e inferior expostas?	sim	
kfi	1,15	
$\gamma_{M,fi}$	1,00	

Cargas

			Classe de duração	kmod	Distância entre vigas (c/c)	4	m
Peso Próprio	0,147	kN/m²	Permanent	0,6			
Carga permanente	1,00	kN/m²	Permanent	0,6			
Sobrecarga	0,30	kN/m²	Medium-term	0,8			
Neve	0,80	kN/m²	Short-term	0,9			
Vento	-1,20	kN/m²	Medium-term	0,8			
Cargas Pontuais	0,00	kN	Permanent	0,6			

RESULTADOS

Estados-Limite Últimos

	Combinação 1		Combinação 2		Combinação 3	
	Rácio	CHECK	Rácio	CHECK	Rácio	CHECK
Compressão perpendicular ao fio	0,167	OK	0,229	OK	0,054	OK
Flexão simples	0,654	OK	0,899	OK	0,213	OK
Bambeamento	0,594	OK	0,817	OK	0,194	OK
Corte	0,416	OK	0,572	OK	0,136	OK

Estado-Limite de Serviço

	u (mm)	ulim (mm)	Rácio	CHECK
uint	33,8	50,0	0,68	OK
ufinal	48,3	75,0	0,64	OK

Verificação da Resistência ao Fogo

Combinação 4 (Acidental)	
Rácio	CHECK
12%	OK

para 60 minutos

ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

Esforços

nº tramos	1	nº apoios	2
Tipo de Carga	Carga uniformemente distribuida	Comprimento L	15,00 m
Tramos de Aplicação	TRAMO 1		

Combination 1: $\gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q$

γ_G	1,35
γ_Q	1,5
qED	7,995 kN/m
PED	0,00 kN
MED max	224,86 kN.m
VED max	59,96 kN

Combination 2: $\gamma_G \times G + \gamma_S \times S$

γ_G	1,35
γ_S	1,5
qED	10,995 kN/m
PED	0,00 kN
MED max	309,23 kN.m
VED max	82,46 kN

Combination 3: $\gamma_G \times G + \gamma_W \times W$

γ_G	1,0
γ_W	1,5
qED	-2,611 kN/m
PED	0,00 kN
MED max	73,44 kN.m
VED max	19,58 kN

Verificações de Segurança

COMBINAÇÃO 1

Compressão perpendicular ao fio:

Kc,90,d	1,75
fc,90,d	1,80 MPa
Fc,90,d	59961,6 N
Aef	200000 mm²
$\sigma_{c,90,d}$	0,30 MPa
CHECK	OK
Rácio	17%

Flexão simples:

ksys	1,00
kh	1,00
fmd	20,16 MPa
$\sigma_{m,d}$	13,18 MPa
CHECK	OK
Rácio	65%

Bambeamento:

ksys	1,10
kh	1,00
fmd	22,18 MPa
$\sigma_{m,crit}$	97,07 MPa
m	0,88
lef	2700 mm
$\lambda_{rel,m}$	0,54
Kcrit	1,00
$\sigma_{m,d}$	13,18 MPa
CHECK	OK
Rácio	59%

Corte:

fvd	2,52 MPa
kcr	0,67
bef	107,2 mm
τ_d	1,049 MPa
CHECK	OK
Rácio	42%

COMBINAÇÃO 2

Compressão perpendicular ao fio:

Kc,90,d	1,75
fc,90,d	1,80 MPa
Fc,90,d	82461,6 N
Aef	200000 mm²
$\sigma_{c,90,d}$	0,41 MPa
CHECK	OK
Rácio	23%

Flexão simples:

ksys	1,00
kh	1,00
fmd	20,16 MPa
$\sigma_{m,d}$	18,12 MPa
CHECK	OK
Rácio	90%

Bambeamento:

ksys	1,10
kh	1,00
fmd	22,18 MPa
$\sigma_{m,crit}$	97,07 MPa
m	0,88
lef	2700 mm
$\lambda_{rel,m}$	0,54
Kcrit	1,00
$\sigma_{m,d}$	18,12 MPa
CHECK	OK
Rácio	82%

Corte:

fvd	2,52 MPa
kcr	0,67
bef	107,2 mm
τ_d	1,442 MPa
CHECK	OK
Rácio	57%

COMBINAÇÃO 3

Compressão perpendicular ao fio:

Kc,90,d	1,75
fc,90,d	1,80 MPa
Fc,90,d	19584,0 N
Aef	200000 mm²
$\sigma_{c,90,d}$	0,10 MPa
CHECK	OK
Rácio	5%

Flexão simples:

ksys	1,00
kh	1,00
fmd	20,16 MPa
$\sigma_{m,d}$	4,30 MPa
CHECK	OK
Rácio	21%

Bambeamento:

ksys	1,10
kh	1,00
fmd	22,18 MPa
$\sigma_{m,crit}$	43,68 MPa
m	0,88
lef	6000 mm
$\lambda_{rel,m}$	0,80
Kcrit	0,96
$\sigma_{m,d}$	4,30 MPa
CHECK	OK
Rácio	19%

Corte:

fvd	2,52 MPa
kcr	0,67
bef	107,2 mm
τ_d	0,343 MPa
CHECK	OK
Rácio	14%

ESTADOS LIMITES SERVIÇO

Cargas		u,inst,i	u,final,i
kN/m		mm	mm
Permanente+ PP	4,589	37,0	59,2
Sobrecarga	1,200	9,7	9,7
Neve	3,200	25,8	41,3
Vento	-4,800	-38,7	-62,0
Cargas Pontuais	0,000	0,0	0,0
Σ		33,800	48,270

	u (mm)	u _{lim} (mm)	Rácio	CHECK
uint	33,8	50,0	0,68	OK
ufinal	48,3	75,0	0,64	OK

VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA AO FOGO - MÉTODO DAS PROPRIEDADES REDUZIDAS - Taxa de carbonização nominalCombination 4: (Acidental) **G + ψ_2 x Q**

ψ_2	0,00	
qED	4,589	kN/m
PED	0,00	kN
MED fi	129,06	kN.m

Resistência ao fogo:

kfi	1,15	
$\gamma_{M,fi}$	1,00	
β_0	0,50	mm/min
β_n	0,55	mm/min
t	60	min
$f_{m,k}$	28	MPa
kmod,fi	1,00	

Mz,d,fi	129,06	kN/m
$f_{m,20}$	32,2	MPa
$f_{m,d,fi}$	32,20	MPa
$\sigma_{m,crit}$	3,82	MPa
CHECK	OK	
Rácio	12%	

Dimensões efetivas

B _{ef}	94	mm
H _{ef}	1468	mm
Pr	3124	mm
Ar	137992	mm ²